

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



**Ecologia e migração da enguia prateada na Lagoa de Santo
André: um contributo para a gestão da pesca e da abertura da
lagoa ao mar**

João Pedro Andrade Marques

Mestrado em Ecologia Marinha

Dissertação orientada por:
Prof. Doutora Isabel Domingos
Prof. Doutor Bernardo Quintella

Agradecimentos:

Quero agradecer a todos os que fizeram este trabalho ir para a frente:

Ao Prof. Doutor Bernardo Quintella, agradeço o constante apoio, empenho e disponibilidade, ajudando-me a levar “o barco” a bom porto. Quero aproveitar esta oportunidade para agradecer a oportunidade de “trabalhar” com telemetria, inclusive antes da escolha dos temas da dissertação.

Um muito obrigado à Prof. Doutora Isabel Domingos, em especial, pelo constante apoio e por ser capaz de garantir que todos os barcos chegam a bom porto. Neste sentido, este trabalho também só foi possível de realizar com a ajuda de alguém com o melhor conhecimento técnico sólido sobre a espécie.

A toda a equipa do projeto PELSA, em particular aos meus colegas que auxiliaram em diferentes alturas do trabalho de campo. Sem eles não seria possível realizar as amostragens que envolveram dezenas de dias de acompanhamento diário da pesca na lagoa, assim como noutras situações do decorrer do projeto. Um forte abraço aos meus grandes amigos e colegas, ao Rui Monteiro, ao Francisco Azevedo e Silva e à Joana Santos, bem como ao Pedro Félix, à Maria João Correia e ao Prof. Lino Costa.

Outras pessoas da família MARE foram importantes, a todos eles muito obrigado, em particular à Filipa Belo por me ter ensinado passos importantíssimos das análises realizadas neste estudo. Sem ti seria mais difícil.

Ao ICNF, ao Eng.º Gonçalo Lopes, à Dra. Ana Vidal e ao Carlos.

A toda a comunidade piscatória, em particular ao Carlos Domingos e ao Fernando Leocádio. Obrigado por terem sido bons colegas de trabalho, facilitando o decurso da recolha de dados científicos.

Ao pessoal do restaurante “A Cascalheira”.

Aos meus colegas de mestrado quero agradecer por todos os momentos de amizade, fundamentalmente ao Vasco, ao Afonso, à Irina

À minha família, em especial aos meus avós, por terem paciência comigo e por terem sido a pedra angular da minha educação.

À Térésa, the best.

Resumo

O número de reprodutores de enguia-europeia, *Anguilla anguilla* L. que consegue sair dos sistemas aquáticos continentais (i.e., fuga) tem diminuído devido a impactos antropogénicos de entre os quais se destacam a construção de barragens e a sobrepesca, considerados os principais responsáveis pelo declínio acentuado desta espécie, que se encontra ameaçada. Este trabalho foi realizado numa lagoa costeira semi-fechada, a Lagoa de Santo André (LSA), aberta artificialmente ao mar num período tardio da época de migração reprodutora de enguia rumo ao Mar dos Sargãos. O presente trabalho teve como objetivo principal compreender a dinâmica da migração reprodutora da enguia na LSA através do estudo do padrão de movimentos, identificação dos parâmetros ambientais que parecem condicionar o comportamento migratório e determinação da taxa de fuga dos reprodutores. A técnica utilizada para estudar os movimentos migratórios desta espécie foi a biotelemetria, tendo sido marcadas 74 enguias prateadas com transmissores acústicos. A eficiência de deteção da rede fixa de monitorização automática instalada no interior da LSA, composta por 6 recetores acústicos, foi aferida, desenvolvendo uma amostragem com grande resolução espacial e em condições ambientais variáveis. Para analisar o padrão de movimentos das enguias prateadas no interior da LSA recorreu-se a três análises estatísticas distintas, uma em base SIGs, a Kernel Density Estimation (KDE), uma Análise de Redes (AR) no software UCINET e um Modelo Linear Generalizado (MLG) desenvolvido em ambiente R. Estas análises estatísticas permitiram avaliar a utilização espacial, o padrão de movimentos e identificar os fatores ambientais que influenciaram a atividade migratória das 74 enguias prateadas marcadas e libertadas no interior da LSA. Enquanto a lagoa esteve fechada, verificou-se que os indivíduos tendencialmente ocuparam toda a área adjacente ao cordão dunar e que a zona mais próxima do mar (zona da Aberta) foi a mais utilizada. O sentido do movimento predominante foi em direção à Aberta. No que respeita aos parâmetros ambientais que parecem condicionar o comportamento migratório das enguias prateadas, o período do dia foi identificado como o preditor mais explicativo seguido pela salinidade, temperatura, direção do vento, fase lunar e precipitação. Observou-se a mortalidade de 68 % da amostra, como resultado das recapturas pelos pescadores. Segundo a informação do conjunto de recetores acústicos colocados na zona costeira adjacente à LSA, uma rede composta por 10 recetores, foi possível confirmar que alguns animais conseguem sair do sistema, numa fase tardia do período migratório. A taxa de fuga observada estimada com os indivíduos marcados durante o período de pesca e defeso foi de 4 % mas, considerando o resto da informação obtida no decorrer do período de estudo, que inclui a informação do conjunto de recetores ancorados na lagoa juntamente com sessões de *tracking* manual realizadas na área de estudo, a fuga de reprodutores pode ter atingido os 13,51 %. Devido ao Regulamento (CE) n.º 1100/2007 e às medidas de gestão na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha, a pesca à enguia é agora mais restringida. Visando o aumento da taxa de fuga desta espécie com elevado valor económico e conservacionista na Reserva, são apresentadas algumas sugestões no âmbito da gestão da pesca e da abertura da lagoa ao mar, nomeadamente a alteração do período defeso, a abertura da lagoa ao mar no final de janeiro ou a construção de uma passagem para enguias. A informação obtida com o presente trabalho é considerada muito relevante no contexto das obrigações de Portugal no que se refere à implementação do Plano de Gestão da Enguia.

Keywords: *Anguilla anguilla*; biotelemetria; padrão de movimentos; fuga de reprodutores; migração tardia

Abstract

The number of European eel spawners, *Anguilla anguilla* L., that escape from continental aquatic systems has declined due to anthropogenic impacts such as dams and overfishing. These impacts are considered the main factors responsible for the decline of this threatened species. This work was carried out in a semi-closed coastal lagoon, the Santo André Lagoon (LSA), which is artificially opened to the sea in a late period in relation to the time of eels reproductive migration towards the Sargasso Sea. The main objective of this work is to understand the dynamics of the reproductive migration of the eel in the LSA by studying the pattern of their movements, identifying the environmental parameters that seem to rule the migratory behavior and determining the escapement rate. The technique used to study the migratory movements of this species was biotelemetry, with 74 silver eels being marked with acoustic transmitters. The detection efficiency of the automatic monitoring fixed network installed inside the LSA, composed of 6 acoustic receivers, was verified, developing a sampling with high spatial resolution and in variable environmental conditions. In order to analyze the movement patterns of the silver eels within the LSA, three different statistical analyzes were used, one based on GIS, the Kernel Density Estimation (KDE), a Network Analysis (AR) in the UCINET software and a Generalized Linear Model (GLM) developed in an R environment. These statistical analyzes allowed to evaluate the spatial use, the pattern of movements and to identify the environmental variables that influenced the migratory activity of the 74 silver eels marked and released within the LSA. In the period when the lagoon was closed, the silver eels tended to occupy the entire area adjacent to the dune cord and the zone closest to the sea (Aberta zone) was the most used. The direction of the predominant movement was towards the sea (Aberta zone). Regarding the environmental variable that seem to rule the migratory behavior of silver eels, the period of the day was identified as the most explanatory predictor followed by salinity, temperature, wind direction, lunar phase and precipitation. A mortality of 68% of the sample was observed, as a result of the recaptures by fishermen. According to the information gathered from the set of acoustic receivers placed in the coastal zone adjacent to the LSA, a network composed of 10 receivers, it was confirmed that some animals can leave the system at a late stage of the migratory period. The observed escapement rate with the individuals tagged during the fishing period was 4%, but considering the rest of the information obtained during the study period, which includes the information of the set of receivers anchored in the lagoon together with sessions of manual tracking carried out in the study area, the escapement of silver eels may have reached 13.51%. Due to Regulation (EC) No 1100/2007 and management measures in the study area, which is included in a Nature Reserve, eel fishing is more restricted. In order to increase escapement, some suggestions related to the management of the fishery and the opening of the lagoon, namely changing the closed season, opening of the lagoon in the end of January or install a passage for eels. The information obtained with this work is considered very relevant in the context of the obligations of Portugal regarding the implementation of the Eel Management Plan.

Keywords: *Anguilla anguilla*; biotelemetry; movement patterns; spawners escapement; late migration

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METODOLOGIA	4
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.2. TRABALHO DE CAMPO	8
2.2.1. REDE DE MONITORIZAÇÃO AUTOMÁTICA	8
2.2.2. CAPTURA E MARCAÇÃO.....	12
2.2.3. MONITORIZAÇÃO DOS DESEMBARQUES	16
2.2.4. TELEMETRIA MANUAL.....	17
2.3. ANÁLISE DE DADOS.....	18
2.3.1. AFERIÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DETECÇÃO DA REDE DE MONITORIZAÇÃO AUTOMÁTICA	18
2.3.2. ANÁLISE DO PADRÃO DE MOVIMENTOS	19
3. RESULTADOS	22
3.1. EFICIÊNCIA DE DETECÇÃO DA REDE DE MONITORIZAÇÃO AUTOMÁTICA	22
3.1.1. <i>Rangetest ativo</i>	22
3.1.2. <i>Rangetest passivo</i>	23
3.2. CRONOGRAMA DE MARCAÇÕES E RECAPTURAS DA AMOSTRA.....	25
3.3. PADRÃO DE MOVIMENTOS DENTRO DA LAGOA.....	28
3.3.1. <i>Análise da distribuição espacial</i>	28
3.3.2. <i>Influência dos parâmetros ambientais</i>	40
3.4. FUGA DE REPRODUTORES	42
4. DISCUSSÃO	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
6. BIBLIOGRAFIA.....	52

Lista de Figuras

- Figura 2.1 – Localização da Lagoa de Santo André (coordenadas: 38°05' 47.57''N; 8°47'23.69''O). 4
- Figura 2.2 – Mapa da Lagoa de Santo André onde estão representadas a zona da Aberta (polígono azul), as principais ribeiras e linhas de água (linha azul), os poços do Ortigão (A), da Zimbreira (B), dos Caniços (C), do Parral (D), dos Alguidares (E) e do Pinheiro (F). Estão ainda marcados os limites de áreas com estatuto de conservação: Sítio Ramsar (laranja), ZPE (verde), RNLSAS (rosa), SIC (amarelo). Os círculos brancos assinalam os locais onde foram colocadas as sondas multiparamétricas para recolha em contínuo dos valores de temperatura e salinidade. 5
- Figura 2.3 – Modelo numérico da batimetria da LSA, retirado da monitorização batimétrica da LSA (extraído de Mariano *et al.*, 2004) 6
- Figura 2.4 – Localização das estações fixas de monitorização (recetores) na Lagoa de Santo André (LSA-1 a LSA-6) e na zona costeira adjacente (ZCA-1 a ZCA-10). Adicionalmente encontram-se representados os locais de galgamento (azul) À direita do mapa estão as coordenadas e a profundidade de cada estação. 9
- Figura 2.5 – Representação esquemática do sistema de amarração para aclopagem dos recetores de telemetria nas estações fixas de monitorização. Estão representados os seguintes componentes: base de betão com armação integrada para fixação do cabo principal (1), manilha em aço inoxidável (2), recetor de telemetria acústica (3), cabo secundário (4), cabo principal (5), bóia rígida resistente à pressão (6). Cabo principal com o recetor VR2w acoplado (a). Recetor com proteção (b). 9
- Fig. 2.6 – Combinação de técnicas para aferir a eficiência de deteção. *Rangetest* ativo (a) e *rangetest* passivo (b). 10
- Fig. 2.7 – Localização das estações definidas para medir a eficiência de deteção da rede de monitorização automática instalada no interior da LSA. Receptores VR2w (pontos verdes); *Rangetest* passivo (pontos laranjas); *Rangetest* ativo (pontos azuis). 11
- Figura 2.8 – Ilustração de uma enguia amarela (à esquerda) (autor: dolan©Fotolia) e de uma prateada (conceptcafe©Fotolia). 12
- Figura 2.9 – Medição dos parâmetros biométricos para confirmação do estado de prateação: diâmetro ocular vertical (a), diâmetro ocular horizontal (b). e comprimento da barbatana peitoral (c). Pode ainda observar-se o tipo de viveiro onde se colocaram as enguias durante a fase de recuperação pós implantação do transmissor (d). Um pormenor do viveiro, fora de água, pode ainda ser observado no topo da fotografia da lagoa. 15
- Figura 2.10 – Implantação interna dos transmissores. Introdução da marca PIT (a) e do transmissor (b) na cavidade peritoneal, suturação da incisão (c e d). 15

Figura 2.11 – Porto de desembarque junto ao parque de campismo (a) e tipo de barco de pesca usado na Lagoa de Santo André onde se observam os exemplares capturados pela pesca (b).	16
Figura 2.12 – Mapa com os percursos das 2 sessões de <i>tracking</i> manual, dia 5 e dia 6 de julho (a amarelo e a azul).	17
Figura 2.13 – Fotografias da zona da Aberta e do canal no último dia de comunicação com o mar (17-03-2016).	19
Figura 3.1 – Representação gráfica da análise <i>Universal Kriging</i> que ilustra a eficiência de deteção dos recetores acústicos instalados no interior da Lagoa de Santo André, elaborada a partir da interpolação dos 143 pontos de transmissão realizados durante o procedimento “rangetest ativo”.	22
Figura 3.2 – Gráfico de dispersão de pontos com reta de regressão, relacionando a eficiência de deteção com a distância do transmissor sentinela a cada recetor.	23
Figura 3.3 – Variação circadiana da eficiência de receção a classes de distância entre o transmissor sentinela e o receptor diferentes (verde: 0-100m ; laranja: 100-200m; amarelo: 200-400m ; cinzento > 400m). No eixo secundário pode ler-se a velocidade do vento. Adicionalmente, rotulou-se a linha do vento com a direção.	24
Figura 3.4 – Relação entre a eficiência de deteção e a intensidade do vento	24
Figura 3.5 – Relação entre a eficiência de deteção e a precipitação total.	24
Figura 3.6. Registo da data de libertação (a verde) das enguias-prateadas e da(s) data(s) de recaptura monitorizadas durante a época de pesca [01-01-2016, 07-03-2016] (a preto). À direita da última recaptura de cada indivíduo encontra-se identificada a respetiva data.	26
Figura 3.7. Deteções dos indivíduos até à data de levantamento dos recetores da lagoa [10-12-2015, 27-06-2016]. Cada barra indica pelo menos uma deteção de um indivíduo num determinado dia. À direita da última deteção de cada individuo encontra-se a respetiva data. O período de pesca [01-01-2016, 07-03-2016] encontra-se representado na caixa “picotada” e o período de livre circulação entre a LSA e o oceano pela caixa de linha vermelha contínua.	27
Figura 3.8 – Mapas representativos da Kernel Density Estimation, com percent volume contours de 95 % (tracejado preto) e 50 % (linha vermelha), para os machos (verde). Áreas representadas com a cor mais escura correspondem a áreas mais utilizadas. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre Dezembro [10-12-2016, 31-12-2016], Janeiro1Q [01-01-2016, 15-01-2017], Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016] na rede de monitorização (azul).	29
Figura 3.9 – Mapas representativos da Kernel Density Estimation, com percent volume contours de 95 % (tracejado preto) e 50 % (linha vermelha), para as fêmeas (rosa). Áreas representadas com a cor mais escura correspondem a áreas mais utilizadas. Os períodos de análise decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-	

02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016] na rede de monitorização (azul). 31

Figura 3.10 – Mapas representativos da KDE, com *percent volume contours* de 95 % (tracejado preto) e 50 % (linha vermelha), para machos + fêmeas (MF) (preto). Áreas representadas com a cor mais escura correspondem a áreas mais utilizadas. Os períodos de análise decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016] na rede de monitorização (azul). 32

Figura 3.11 – Representação gráfica da análise de redes (AR) (UCINET) que ilustra os movimentos dos machos (vetores azuis) observados pela rede de monitorização fixa. Os quadrados correspondem à localização de cada estação de monitorização colocada, sendo que a sua dimensão reflete a medida de centralidade da mesma, calculada com base no grau de centralidade dos nós. A espessura dos vetores reflete a frequência desse movimento de interligação de áreas. O movimento segue o sentido de menor para maior espessura dos vetores. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre dezembro [10-12-2016, 31-12-2016], Janeiro1Q [01-01-2016, 15-01-2017], Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016]. 36

Figura 3.12 – Representação gráfica da análise de redes (AR) (UCINET) que ilustra os movimentos das fêmeas (vetores a vermelho) observados pela rede de monitorização fixa. Os quadrados correspondem à localização de cada estação de monitorização colocada, sendo que a sua dimensão reflete a medida de centralidade da mesma, calculada com base no grau de centralidade dos nós. A espessura dos vetores reflete a frequência desse movimento de interligação de áreas. O movimento segue o sentido de menor para maior espessura dos vetores. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016]. 38

Figura 3.13 – Representação gráfica da análise de redes (AR) (UCINET) que ilustra os movimentos dos machos + fêmeas (cinzento) observados pela rede de monitorização fixa. Os quadrados correspondem à localização de cada estação de monitorização colocada, sendo que a sua dimensão reflete a medida de centralidade da mesma, calculada com base no grau de centralidade dos nós. A espessura dos vetores reflete a frequência desse movimento de interligação de áreas. O movimento segue o sentido de menor para maior espessura dos vetores. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016]. 39

Figura 3.14 – Variação da temperatura (em °C, a laranja) e da salinidade (unidades de salinidade, a azul), medidas pela sonda colocada na zona da Aberta, durante o período de estudo [10-12-2015, 26-07-2016]. 40

Figura 3.15 – Mapa com a localização dos recetores colocados não recuperados (a vermelho) e recuperados (a verde). A direção de saída dos indivíduos detetados no mar (Aa27, Aa66, Aa71 e Aa65) encontra-se representada por vetores verdes. Os círculos a preto representam o raio de cobertura dos recetores. 42

Figura 3.16 – Mapa com as localizações dos indivíduos detetados no tracking manual efetuado no final do período de estudo para estimar o número de animais que permaneceu no interior da LSA.

45

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Dados das enguias prateadas marcadas. As datas de marcação e libertação dos indivíduos bem como o sexo são também apresentados na tabela	13
Tabela 2.2 – Métricas calculadas na Análise de Redes	20
Tabela 2.3 – Resumo do tipo de processamento preliminar aplicado aos dados obtidos a partir da rede fixa de monitorização automática	21
Tabela 3.1 – Valores das medidas de centralidade (<i>OutDegree</i> e <i>InDegree</i>) e <i>Betweenness</i> . obtidas na Análise de Redes para os movimentos de machos, fêmeas e população (machos+fêmeas) ao longo dos 6 períodos de análise	34
Tabela 3.2 – Resumo com os valores do critério de AIC, variáveis explicativas e percentagem de explicação total dos modelos analisados. O modelo selecionado encontra-se destacado	40
Tabela 3.3 – Variáveis explicativas do modelo selecionado e respetivos valores de coeficiente de regressão, deviance residual, p-value do teste de Chi2 (χ^2) e percentagem de explicação de cada preditor	41
Tabela 3.4 – Resumo com os dados dos indivíduos que foram detetados entre a abertura da lagoa ao mar e 27 de junho	44

1. Introdução

A enguia-europeia, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), é uma espécie semélpara e catádroma, que apresenta uma ampla distribuição geográfica, desde o Sul da Mauritânia (30° N) até ao Mar de Barents (72° N), que abrange o continente europeu e parte do Norte de África (Tesch, 2003; Bultel *et al.*, 2014). Esta espécie possui um ciclo de vida complexo que compreende duas migrações oceânicas, sendo grande parte da sua vida passada em águas continentais. O local de reprodução, descoberto por Schmidt (1922), situa-se no Mar dos Sargãos, entre os 23°-29,5° N e 48°-78° W (McCleave *et al.*, 1987; Tesch & Wegner, 1990). Todavia, não existem, até hoje, evidências diretas da presença de indivíduos adultos na área de reprodução e não se conhece o seu limite Este (Miller *et al.*, 2015). Depois de eclodirem, as larvas iniciam uma migração passiva que pode demorar 3 anos (McCleave, 1998; Tesch, 2003), aproveitando as correntes do Golfo e do Atlântico Norte (Munk *et al.*, 2010). A migração entre o local de reprodução e a costa europeia e norte-africana, que cobre uma distância de 4000 a 6000 km, é muito provavelmente, a mais longa realizada pelas espécies da família *Anguillidae* (Aoyama *et al.* 2003; Aoyama, 2009).

Ao atingir a plataforma continental, as larvas sofrem uma metamorfose e adquirem a forma anguiliforme característica da família *Anguillidae*, passando a designar-se por enguias de vidro ou meixão (Tesch, 2003). É nesta fase que colonizam os sistemas costeiros, salobros ou de água doce (Tesch, 2003; Daverat *et al.*, 2006), onde desenvolvem características fisiológicas que lhes permitem progredir para águas mais interiores (Chadwick *et al.*, 2007), deslocando-se para montante quando estimuladas pelo aumento da temperatura da água (Domingos *et al.*, 2006). É durante este período que surge a pigmentação passando à fase designada por enguias amarelas. Depois de um período de crescimento variável, mais rápido em sistemas salobros do que em sistemas dulçaquícolas (Acou, 2003), as enguias amarelas sofrem uma nova metamorfose, transformando-se em enguias prateadas, associada a modificações morfológicas e fisiológicas que as prepara para a migração de regresso ao local de postura (Tesch, 2003; Durif *et al.*, 2005). Estas modificações incluem um padrão de coloração característico que consiste no escurecimento da parte dorsal e prateamento do ventre, associado à conspicuidade da linha lateral, bem como das barbatanas caudal e peitoral e, ainda um aumento da barbatana peitoral e do diâmetro ocular (Pankhurst 1982; Beullens *et al.*, 1997; Durif *et al.*, 2005).

A enguia-europeia é uma espécie classificada como “Em perigo” no Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral *et al.*, 2005) e “Criticamente em Perigo” a nível global pela IUCN (*International Union for Conservation of Nature*). Na origem desta classificação esteve o acentuado declínio de recrutamento que ocorreu no início da década de 1980 (Dekker, 2003) e que continuou até aos dias de hoje, encontrando-se bastante abaixo do nível histórico (ICES, 2016). As causas do declínio são várias, e podem ter origem natural e antropogénica. As alterações na corrente do Golfo e do Atlântico Norte são apontadas como as causas naturais mais prováveis enquanto pressões como a sobrepesca e a presença de barreiras intransponíveis são consideradas as principais causas de mortalidade antropogénica (Dekker, 2003). A presença de barreiras intransponíveis e o aumento da densidade abaixo desses obstáculos afeta a diferenciação sexual favorecendo a produção de machos (Costa *et al.*, 2008; Acou *et al.*, 2009), e atrasa a migração das enguias prateadas, nos casos em que tiveram acesso aos cursos de água a montante (ICES, 2015). A acrescer aos problemas anteriormente referidos, destaca-se ainda a presença do nemátode parasita, *Anguillicola crassus* (Kuwara *et al.*, 1974), que pode causar uma disfunção da bexiga gasosa com consequências no sucesso da migração (Belpaire *et al.*, 2011).

Reconhecendo a redução drástica do recrutamento, o ICES (*International Council for the Exploration of the Sea*) alertou a Comissão Europeia (CE) para a necessidade de adotar medidas tendentes a reverter

a situação (ICES, 1999). De modo a contrariar a tendência de declínio do recrutamento, a Comissão Europeia aprovou o Regulamento (CE) N° 1100/2007, estipulando um quadro para a proteção, recuperação e exploração sustentável da enguia. O regulamento obrigava todos os estados membros, com habitat disponível para a enguia, a adotar um Plano de Gestão da Enguia (PGE) para cada bacia hidrográfica, sendo o principal objetivo a redução das mortalidades antropogénicas, garantindo a fuga para o mar de, pelo menos, 40 % da biomassa de enguias prateadas correspondente à melhor estimativa da fuga que existiria em condições pristinas. Em 2010 entrou em vigor o regulamento imposto pela convenção CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*) que proibiu as exportações de enguia para fora da Europa. Decorridas quase duas décadas desde que o ICES (ICES, 1999) alertou para o facto de a espécie se encontrar fora dos limites biológicos de segurança, e apesar de terem sido adotadas diversas medidas para garantir a recuperação da população e a sustentabilidade das pescas, o recrutamento não revela ainda sinais de recuperação (Dekker, 2016; ICES, 2016).

O PGE português, que considerou todo o território nacional, à exceção do rio Minho, como uma “bacia hidrográfica” (unidade de gestão), foi aprovado pela CE em abril de 2011. As medidas contempladas no PGE português visam, fundamentalmente, a redução do esforço de pesca em águas sob jurisdição marítima e águas interiores, o aumento de habitat disponível e a obtenção de dados sobre a população nos sistemas aquáticos nacionais. Por conseguinte, as medidas envolveram a redução da atividade de pesca comercial, a proibição de pesca lúdica, a criação de uma época de defeso para a enguia prateada, o aumento de fiscalização e a remoção faseada de obstáculos à livre circulação da enguia. A necessária recolha de informação sobre a população de enguia nos rios portugueses não foi realizada e por esse motivo, escasseia informação com vista à adequada implementação do PGE, incluindo a referente à monitorização da fuga destes sistemas. Desde 2012 até 2015 que a nível internacional não se observaram reduções na mortalidade, sendo que as últimas avaliações divulgadas muito recentemente indicam que a implementação dos PGE a nível europeu se encontra estagnada (Dekker, 2016; ICES, 2016).

As lagoas costeiras estão entre os *habitats* marinhos com maior produtividade biológica (Tett *et al.*, 2003) e como tal são locais potencialmente importantes para a recuperação da população de enguia-europeia. Nestes sistemas, a enguia apresenta um crescimento mais rápido do que em sistemas ducaquícolas (Domingos, 2003) bem como uma menor taxa de infeção pelo parasita *Anguillicola crassus*, uma vez que a salinidade parece dificultar a transmissão do parasita (Kirk, 2003; Neto *et al.*, 2010; Lefebvre e Crivelli, 2012; Marohn, 2013). Além disso, o aumento da produtividade primária está relacionado com um padrão latitudinal de temperatura e como tal as enguias que crescem em sistemas a sul apresentam normalmente ciclos de vida mais rápidos que nas regiões a norte. Sendo o local preferencial de uma das fases do ciclo de vida de espécies migratórias e funcionando como áreas de viveiro para juvenis de muitas espécies marinhas (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2011a; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2011b), a livre circulação entre lagoas costeiras e o oceano é fundamental para que os peixes diádromos completem o seu ciclo de vida.

A migração reprodutora das enguias prateadas ocorre geralmente no outono/inverno, iniciando-se mais cedo no norte da Europa (agosto-setembro) e mais tarde no sul (outubro-janeiro) (Van Ginneken e van den Thillart, 2000). A população é panmíctica (Als *et al.*, 2011) e a reprodução ocorre entre março e maio (McCleave, 2008). A ligeira diferença entre o início da migração está relacionada com a distância e consequente tempo de viagem até ao Mar dos Sargãos, onde todas as enguias se encontram numa única época de reprodução de modo a maximizar o sucesso reprodutivo. As enguias prateadas que migram desde o norte da Europa terão que percorrer uma distância de cerca de 6000 km, enquanto as enguias mais a sul terão que fazer um percurso de aproximadamente 4000 km para chegar ao local de reprodução. A uma velocidade de natação ótima, os machos conseguem nadar continuamente mais de

6000 km em seis meses (Burgerhout *et al.*, 2013) e as fêmeas, por serem maiores, nadam a mesma distância em três meses e meio (Palstra *et al.*, 2008). Além da diferença na época de migração entre as enguias que migram do Norte e do Sul da sua área de distribuição, existe uma diferença entre os sexos, verificando-se que os machos começam a migração cerca de um ou dois meses antes das fêmeas (Tesch, 2003).

Existe escassa informação sobre a fuga de reprodutores em Portugal, que é vital para a implementação do PGE português. Adicionalmente a não existência de pesca de enguias prateadas faz com que a telemetria surja como uma ferramenta ideal para quantificar a taxa de fuga real. A telemetria acústica é extremamente útil, e uma ferramenta cada vez mais utilizada, no estudo dos movimentos migratórios de diversas espécies aquáticas (Hussey *et al.*, 2015). Particularmente no que se refere à espécie em estudo, esta técnica tem permitido obter informações sobre aspetos da sua ecologia e de impactos antropogénicos uma vez que tem sido utilizada com o intuito de quantificar a mortalidade e ainda a influência da presença de barragens no atraso/bloqueio da migração (Behrmann-Godel e Eckmann, 2003; Aarestrup *et al.*, 2010; Pedersen *et al.*, 2012; McCarthy *et al.*, 2013; Bultel *et al.*, 2014; Monteiro, 2015; Stein, 2015). Antes do presente trabalho, o único estudo centrado na fuga da enguia prateada efetuado em Portugal foi realizado na bacia hidrográfica do rio Mondego. Este trabalho permitiu quantificar a taxa real de fuga de reprodutores e identificar fatores ambientais que parecem influenciar o comportamento migratório (Monteiro, 2015).

A Lagoa de Santo André (LSA) é um sistema muito produtivo, que se encontra separado do mar durante a época de migração da enguia-europeia. A informação bibliográfica disponível sobre a fuga de enguias prateadas em lagoas costeiras é limitada a sistemas permanentemente ligados ao mar, onde a migração ocorre entre outubro e dezembro (De Leo e Gatto, 1995; Amilhat *et al.*, 2009). Na LSA, o pico de maior abundância de enguias prateadas, machos e fêmeas, ocorre em dezembro e janeiro respetivamente (Lopes, 2013), época em que a lagoa se encontra isolada do mar. Ainda que se verifiquem episódios esporádicos de galgamento ou rompimento do cordão dunar, a ligação com o mar é restabelecida artificialmente no início de março e a deposição natural de areia encerra o canal em poucos dias ou semanas. Isto significa que a oportunidade de migração ocorre 1-2 meses após o pico migratório e a 3 meses do final da época de reprodução no Mar dos Sargãos. Antes da realização do presente trabalho, existiam dúvidas se as enguias prateadas conseguiriam manter a fase migradora reagindo aos estímulos ambientais até ao momento em que a ligação é restabelecida ou, se pelo contrário, as enguias prateadas acabariam por sofrer uma regressão para o estado de enguias amarelas, como já registado noutras situações (Feunteun *et al.*, 2000; Aarestrup *et al.*, 2008). Com a informação disponível até à realização do presente trabalho, desconhecia-se se as enguias prateadas saíam da lagoa, enquanto ela se encontra fechada, ou apenas aquando da sua abertura.

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do projeto PELSA “Gestão Sustentável da Enguia na Lagoa de Santo André”, teve como objetivo geral compreender a dinâmica da migração reprodutora da enguia numa lagoa costeira fechada, que se encontra isolada do mar durante a época de migração. Assim, e recorrendo ao uso de telemetria acústica, os objetivos específicos subjacentes à realização deste trabalho incluíram: 1) estudar o padrão de movimentos das enguias prateadas enquanto a Lagoa de Santo André está fechada; 2) estimar a taxa de fuga de reprodutores; 3) determinar as condições que influenciam a fuga de reprodutores. A concretização dos objetivos aumentará o conhecimento sobre a ecologia da enguia-europeia em lagoas costeiras fechadas e poderá contribuir com informações vitais à implementação do PGE português.

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

A Lagoa de Santo André (LSA) é uma lagoa costeira semi-fechada localizada na região sudoeste de Portugal ($38^{\circ}05' 47.57''\text{N}$; $8^{\circ}47'23.69''\text{O}$), no arco litoral arenoso Tróia-Sines, concelho de Santiago do Cacém, distrito de Setúbal (Fig. 2.1).



Fig. 2.1 – Localização da Lagoa de Santo André (coordenadas: $38^{\circ}05' 47.57''\text{N}$; $8^{\circ}47'23.69''\text{O}$).

A lagoa, que ocupa uma área média molhada de 150 ha, pode atingir os 360 ha no inverno, sendo a ligação ao mar e a precipitação anual os fatores determinantes do nível de água no seu interior. O aporte de água continental é feito por uma bacia hidrográfica de cerca de 140 km², com uma forma aproximadamente triangular limitada a Norte pela Lagoa de Melides, a Este pela bacia hidrográfica do Sado, e a Sul pela Lagoa da Sancha (Cruces, 2001).

Morfológicamente complexa, a LSA é constituída por um corpo lagunar de maiores dimensões e dois prolongamentos laterais (braços) alongados na direção N-S, que se subdividem em pequenos corpos lagunares de forma elipsoide, estreitos e pouco profundos, localmente designados por ‘poços’, que ocupam aproximadamente 30 ha (Cancela da Fonseca, 1989; Cruces, 2001). O maior braço subdivide-se no Poço do Ortigão, Poço da Zimbreira, Poço dos Caniços e Poço do Parral, enquanto o braço de menor dimensão, mais interior, subdivide-se no Poço dos Alguidares e Poço do Pinheiro (Fig. 2.2). Os principais tributários nascem na Serra de Grândola e são as ribeiras da Cascalheira, da Ponte, do Forneco, do Azinhal e a da Badoca. A norte da LSA desagua a ribeira da Cascalheira, e a sul desaguam as ribeiras da Ponte, do Forneco e do Azinhal que convergem na ribeira da Badoca (Freitas *et al.*, 2002). Entre a ribeira da Cascalheira e a ribeira da Badoca desagua a ribeira da Cerradinha (Fig. 2.2).

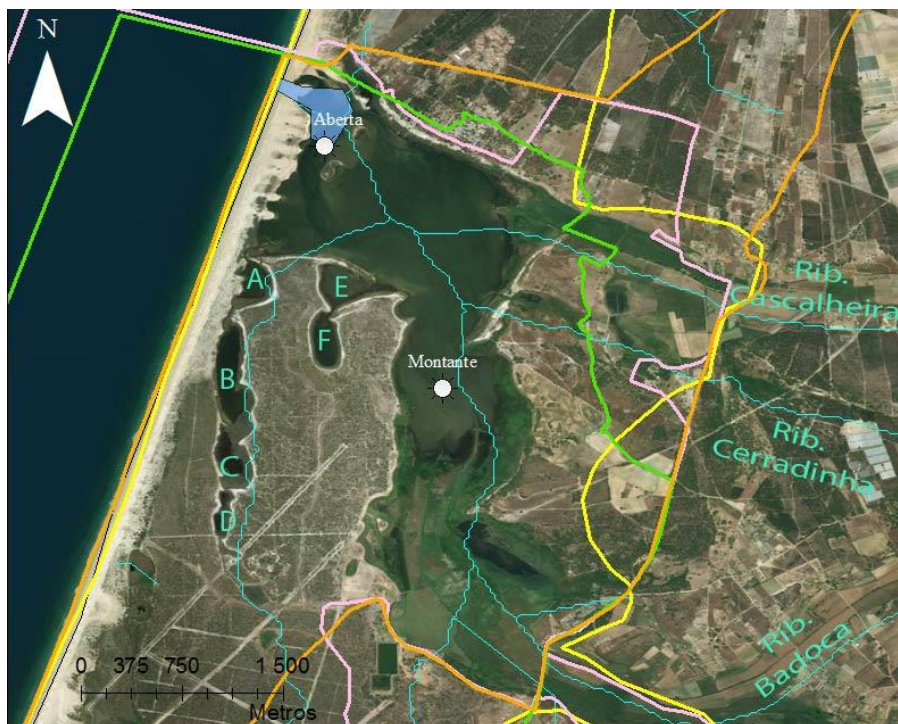


Figura 2.2 – Mapa da Lagoa de Santo André onde estão representadas a zona da Aberta (polígono azul), as principais ribeiras e linhas de água (linha azul), os poços do Ortigão (A), da Zimbreira (B), dos Canços (C), do Parral (D), dos Alguidares (E) e do Pinheiro (F). Estão ainda marcados os limites de áreas com estatuto de conservação: Sítio Ramsar (laranja), ZPE (verde), RNLSAS (rosa), SIC (amarelo). Os círculos brancos assinalam os locais onde foram colocadas as sondas multiparamétricas para recolha em contínuo dos valores de temperatura e salinidade.

A separação do oceano é feita por um longo cordão arenoso que raramente se rompe naturalmente. Em situações de marés vivas, associadas a tempestades, ocorre galgamento do cordão arenoso por ondas altas, aumentando o volume de água e a salinidade dentro da lagoa, bem como a altura do cordão dunar como consequência da deposição de sedimentos trazidos pelas ondas. Estes episódios, pouco frequentes, não eliminam a necessidade de renovar a massa de água e exportar os sedimentos depositados, de modo a reduzir os riscos de eutrofização e permitir a livre circulação de organismos marinhos, o que é garantido pela abertura artificial do cordão dunar, que é feita regularmente na zona assinalada no mapa da Fig. 2.2, como zona da Aberta. Atualmente, o rasgamento do cordão arenoso é feito em março, durante o equinócio da primavera, quando o desnível entre a cota do plano de água no interior da lagoa e a cota da baixa-mar é máximo. O rasgamento é feito quando estão reunidas estas condições, por forma a maximizar o caudal de saída de água, crítico para aumentar a largura do canal e garantir maior longevidade à comunicação entre a lagoa e o mar, evoluindo de forma natural até ao seu encerramento (Freitas *et al.*, 1999).

O fundo da lagoa é constituído por areias de origem marinha e lodos de origem continental. A distribuição dos sedimentos segue um gradiente do mar para o continente, encontrando-se materiais mais grosseiros no canal principal e junto à zona da Aberta. (Cancela da Fonseca, 1989; Mariano *et al.*, 2004). A profundidade máxima ocorre no canal principal, atingindo os 4 m (Fig. 2.3) e quando a lagoa se encontra isolada do mar, em zonas mais profundas, pode ocorrer estratificação da coluna de água (Mariano *et al.*, 2004; Pires, 2011). Junto ao fundo, a turbidez é maior e as condições de penetração de luz não excedem os 2,6 m de profundidade (Pires, 2011).

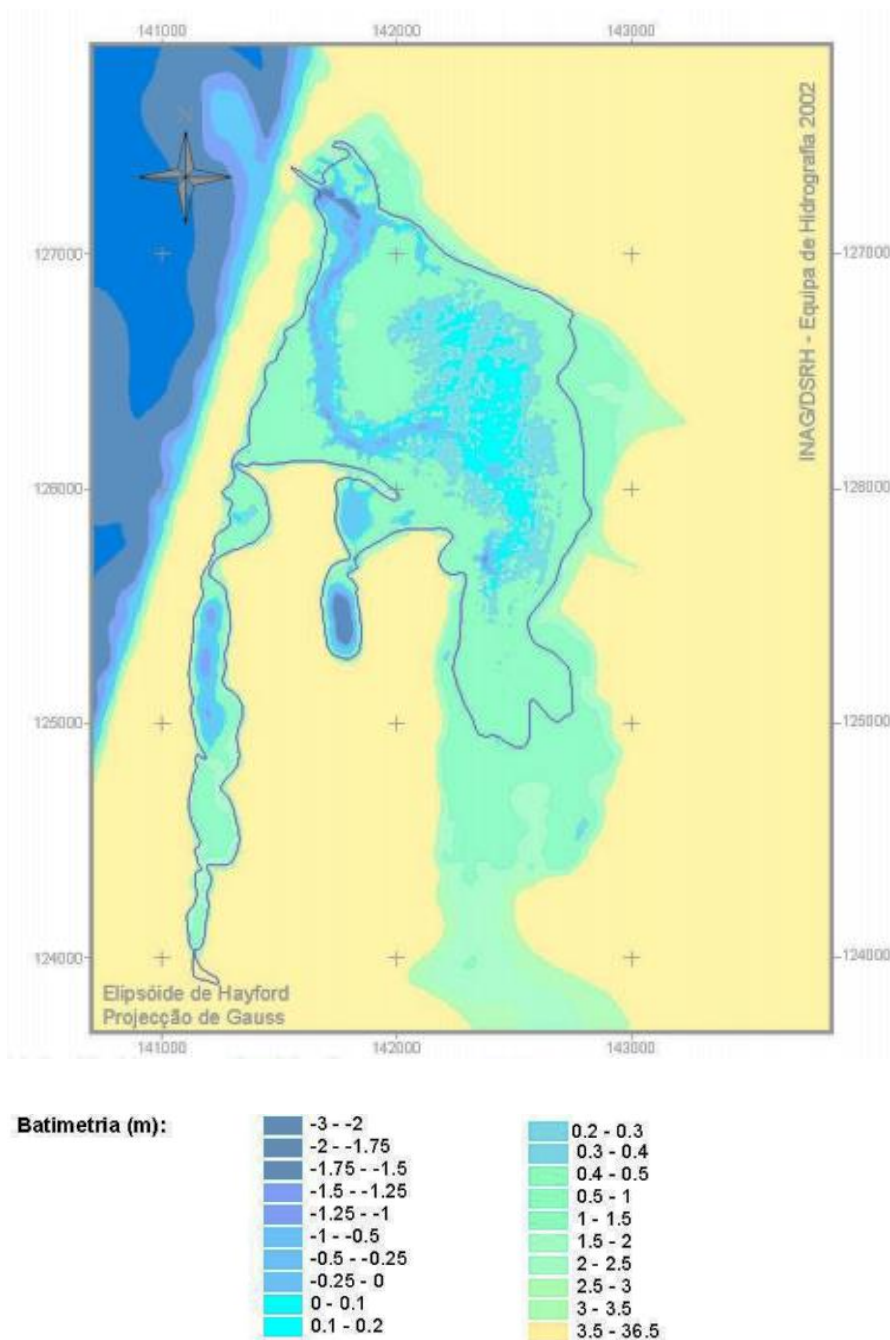


Figura 2.3 – Modelo numérico da batimetria da LSA, retirado da monitorização batimétrica da LSA (extraído de Mariano *et al.*, 2004)

A LSA encontra-se abrangida por diversos estatutos de conservação (Fig. 2.2). A nível internacional a LSA está listada como Sítio RAMSAR, desde 8 de maio de 1996. A nível nacional a LSA insere-se na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLSAS), tendo a sua classificação ocorrido em 2000 (Decreto Regulamentar n.º 10/2000, de 22 de agosto), e os limites sido atualizados em 2004 (Decreto Regulamentar n.º 4/2004, de 29 de março). Engloba ainda a Rede Natura 2000 (Sítio da Comporta/Galé (SIC) - PTCON0034, ao abrigo da Diretiva Habitats, e Zona de Proteção Especial (ZPE) - PTZPE0013, ao abrigo da Diretiva Aves).

Apesar da sua importância do ponto de vista da conservação, e à semelhança do que acontece em diversas lagoas costeiras, um pouco por todo o mundo, a pesca na Lagoa de Santo André reveste-se de uma elevada importância para a economia local, encontrando-se enraizada na cultura da comunidade

piscatória e das gentes locais. Por esse motivo foi criada a Zona de Pesca Profissional (ZPP) da Lagoa de Santo André (Portaria nº 86/2004, de 8 de janeiro) cujos limites foram atualizados pela Portaria n.º 1046/2008, de 16 de setembro. A partir deste momento, a pesca passou a ser considerada uma atividade profissional, que o ICNF (Instituto de Conservação da Natureza e Florestas) regula através da criação anual de editais. Desde que se estabeleceu a ZPP em 2004 e até ao ano de 2014, o período de pesca decorreu entre setembro e a abertura da lagoa ao mar, geralmente em março, sucedendo-se um período de defeso desde o término do período de pesca até setembro.

Atualmente a comunidade piscatória é constituída por 30-40 pescadores, dos quais cerca de metade desenvolve a pesca como atividade principal e todos têm a sua residência nas freguesias limítrofes da lagoa (Santinhos, 2013).

A ictiofauna da LSA é composta por espécies que pertencem a diferentes grupos fenológicos, entre os quais, residentes estuarinos, espécies de ocorrência marinha ocasional, migradores diádromos, migradores sazonais marinhos e migradores juvenis marinhos (Elliott e Dewailly 1995; Gordo e Cabral, 2001; Chainho *et al.*, 2014). A espécie de maior interesse económico é a enguia sendo os aparelhos de pesca autorizados no exercício da pesca profissional direcionada a esta espécie o remolhão e a nassa (ou galricho). A implementação do Plano de Gestão da Enguia introduziu mais restrições à pesca da enguia na LSA e, a partir de 2013, o período de pesca sofreu alterações, tendo sido estabelecida uma época de defeso entre outubro e dezembro (Portaria nº 180/2012, de 6 junho) para proteger a fuga de enguias prateadas. Atualmente a pesca à enguia na LSA está restrita a duas épocas, entre meados de julho e setembro e desde janeiro até março (até ao último dia da abertura da lagoa ao mar).

2.2. Trabalho de campo

2.2.1. Rede de Monitorização Automática

A monitorização do padrão de movimentos das enguias prateadas no interior da LSA e a quantificação da taxa de fuga para o mar foram desenvolvidas através da implementação de uma rede fixa de recetores de telemetria acústica que monitorizam os movimentos realizados pelos indivíduos marcados. Esta metodologia permite monitorizar, de forma contínua e automática, múltiplos indivíduos marcados com transmissores acústicos codificados, dentro da área coberta pela rede de monitorização.

A rede de recetores foi disposta em dois conjuntos localizados em áreas distintas (Fig. 2.4). O primeiro conjunto foi colocado no interior da LSA, junto ao cordão dunar que separa a lagoa do mar, com o objetivo de monitorizar os movimentos das enguias prateadas na proximidade do local conhecido como Aberta que, juntamente com as zonas do cordão dunar onde ocorrem episódios de galgamento pelo mar, são os possíveis locais de fuga das enguias-prateadas do interior da LSA. O segundo conjunto de recetores foi colocado na zona costeira adjacente (ZCA), até uma distância de cerca de 1350 m da linha de costa. Esta segunda rede de recetores foi instalada para detetar a fuga dos indivíduos do interior da LSA, tendo o delineamento espacial sido estabelecido de modo a permitir a deteção de animais que saiam do sistema lagunar quer pela zona de abertura ao mar quer pelas zonas do cordão dunar, na eventualidade de os galgamentos promoverem a fuga das enguias-prateadas da LSA.

A rede de monitorização instalada no dia 20 de novembro de 2015 no interior da LSA era constituída por 6 sistemas de amarração (poita-bóia) aos quais se acoplou um recetor acústico (VR2w *Monitoring Receiver*, VEMCO). A profundidade dos recetores variou entre 2,4 m em dezembro, e 3,7 m em março (Fig. 2.4). O sistema de amarração foi previamente construído utilizando os seguintes componentes: 1 pneu de 16'' preenchido com betão, 1 mosquetão em aço inoxidável a ligar a poita ao cabo principal, 1 cabo destacável acoplado ao recetor, ligado ao cabo principal por intermédio de 2 mosquetões e 1 bóia de superfície (Fig. 2.4). À semelhança do que já foi feito em trabalhos desenvolvidos em sistemas com características semelhantes (Abecasis e Erzini 2008; O'Toole *et al.*, 2011), os recetores foram colocados na zona mais profunda do corpo lagunar, separados cerca de 200 m entre si, assegurando desta forma a máxima eficiência de receção do sinal acústico.

No que respeita à rede de monitorização colocada nos dias 22 e 23 de outubro de 2015 na zona costeira adjacente à LSA, ancoraram-se 10 recetores acústicos iguais aos utilizados no interior da lagoa, dispostos em 2 linhas de deteção, a uma profundidade mínima de 15 m e a uma profundidade máxima de 28 m, cada linha composta por 5 recetores (Fig.2.4). Uma equipa de mergulhadores profissionais colocou as amarrações nos locais previamente definidos, tendo em seguida procedido ao acoplamento do recetor acústico de telemetria. A posição GPS de cada poita associada a um recetor acústico foi registada e encontra-se listada na figura 2.4. As poitas colocadas na zona costeira adjacente à LSA foram montadas com os seguintes componentes: 1 base de betão com 170 kg ligado por uma corrente com 2 m a um ferro com 20 kg, 1 mosquetão de aço inoxidável a ligar a poita ao cabo principal, ao qual se acoplou uma bóia rígida resistente à pressão para manter o cabo na vertical, e 1 local de acoplagem do cabo secundário (acoplado ao recetor de telemetria), que foi ligado ao cabo principal por dois mosquetões de aço inoxidável (Fig. 2.5). O sistema de amarração permitiu que os recetores ficassem suspensos a cerca de 1,5 m do fundo. A recolha dos recetores colocados na zona costeira adjacente à LSA foi realizada no dia 19 de junho de 2016, recorrendo novamente à contratação de mergulhadores profissionais. O *download* dos dados contidos em cada recetor da LSA foi feito no dia 1 de março de 2016, previamente à abertura do canal artificial, evitando a perda de dados por eventual extravio resultante do aumento da intensidade da corrente no momento da abertura da lagoa ao mar; e no dia 27 de julho de 2016, após o fecho da lagoa ao mar.

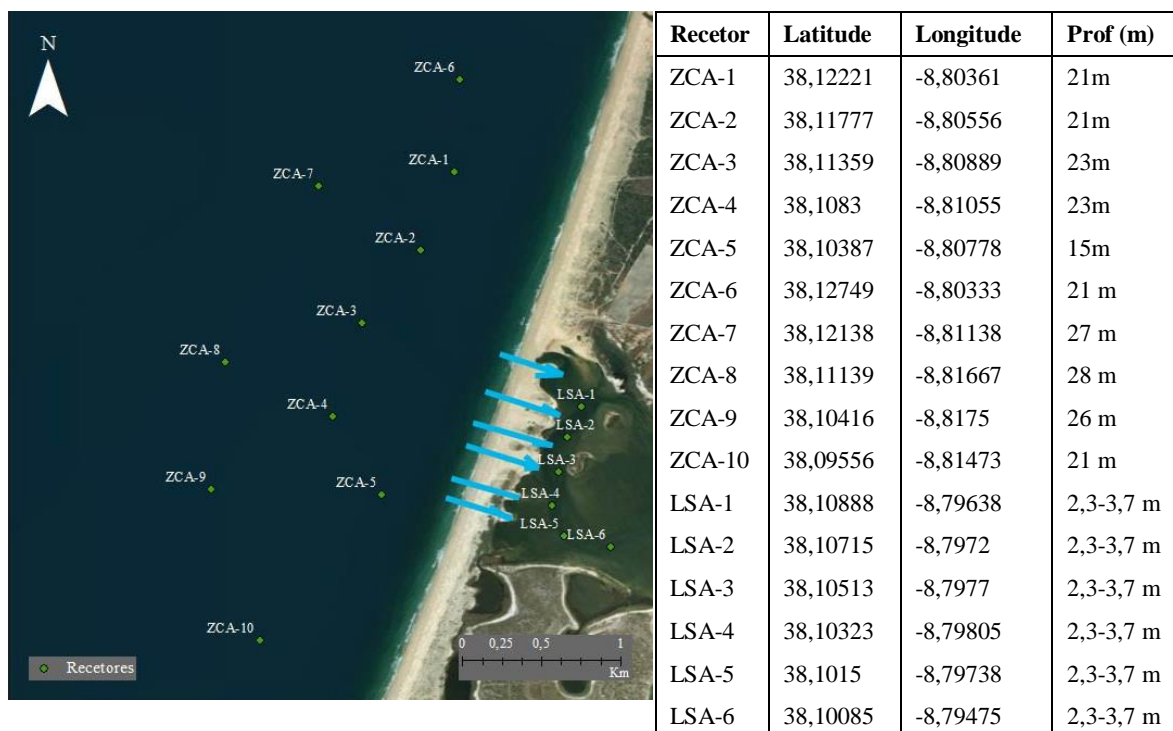


Figura 2.4 – Localização das estações fixas de monitorização (recetores) na Lagoa de Santo André (LSA-1 a LSA-6) e na zona costeira adjacente (ZCA-1 a ZCA-10). Adicionalmente encontram-se representados os locais de galgamento (azul) À direita do mapa estão as coordenadas e a profundidade de cada estação.



Figura 2.5 – Representação esquemática do sistema de amarração para acoplagem dos recetores de telemetria nas estações fixas de monitorização. Estão representados os seguintes componentes: base de betão com armação integrada para fixação do cabo principal (1), manilha em aço inoxidável (2), recetor de telemetria acústica (3), cabo secundário (4), cabo principal (5), bóia rígida resistente à pressão (6). Cabo principal com o recetor VR2w acoplado (a). Recetor com proteção (b).

A eficiência de detecção (ED) traduz a probabilidade de detecção de um indivíduo marcado dentro da área coberta pela rede de monitorização. É recomendado que a ED seja uma relação entre a probabilidade de detecção do sinal e a distância entre o transmissor e recetor (Kessel *et al.*, 2014). Em condições normais, o sinal emitido pelo transmissor sofre perdas de energia por reflexão, dispersão, absorção ou refração e a distância que o sinal é capaz de percorrer diminui (Medwin e Clay, 1997). Em condições ideais, águas profundas sem obstáculos e ruído, o sinal emitido por um transmissor pode alcançar os 600 m (O'Toole *et al.*, 2011). Contudo, a ED diminui consideravelmente em corpos lagunares, sendo que a presença de algas e a reduzida profundidade da coluna de água influenciam negativamente o raio de detecção. Num estudo realizado na Ria Formosa, o raio de detecção máximo observado foi 140 m (Abecasis e Erzini 2008). Neste estudo em particular, o conhecimento da eficiência de assegurar que a fuga dos indivíduos marcados fica devidamente registada durante o período de monitorização.

A combinação de técnicas ativas e passivas é considerada a forma ideal de determinar a eficiência de detecção do recetor de telemetria ou da rede de receção, destacando-se as técnicas com barco (ativa) e a ancoragem de um transmissor “sentinela” (passiva) por um dado período de tempo (Kessel *et al.*, 2014). A combinação de técnicas permite estimar a eficiência de detecção com grande resolução espacial (barco - *rangetest* ativo) e em condições ambientais variáveis (transmissor “sentinela” ancorado numa posição fixa - *rangetest* passivo) (Fig. 2.6).

No presente estudo, o *rangetest* ativo foi desenvolvido com um delineamento experimental (Fig. 2.7) semelhante a estudos recentes como os de Sakabe e Lyle (2010) e Maljkovic e Cote (2011). O trabalho foi desenvolvido nos dias 25 e 26 de abril de 2016 utilizando um transmissor desenvolvido para *rangetest*, em tudo semelhante ao utilizado na marcação das enguias, apenas com um intervalo entre transmissões (i.e., *delay*) mais curto e fixo de 5 s. A marca foi submersa e colocada a 50 cm do fundo durante um período de 1 min em todos os 153 pontos pré-definidos numa radial à volta de cada recetor até cerca de 510 m de distância (Fig. 2.7). Para o *rangetest* passivo (Fig. 2.7) ancoraram-se, a 50 cm do fundo, cinco transmissores (modelo V7-4x, VEMCO) iguais aos dos indivíduos marcados que ficaram a transmitir com um intervalo variável entre 30 – 90 s, durante um período de 29 dias. A utilização de marcas com intervalo de emissão variável é possível porque a marca de teste deve ser igual aos transmissores de marcação, ainda que a programação temporal possa variar (Kessel *et al.*, 2014).



Fig. 2.6 – Combinação de técnicas para aferir a eficiência de detecção. *Rangetest* ativo (a) e *rangetest* passivo (b).



Fig. 2.7 – Localização das estações definidas para medir a eficiência de detecção da rede de monitorização automática instalada no interior da LSA. Receptores VR2w (pontos verdes); *Rangetest* passivo (pontos laranjas); *Rangetest* ativo (pontos azuis).

2.2.2. Captura e marcação

Foram efetuadas cinco sessões de marcação ao longo do período de estudo, marcando-se um conjunto de 13 indivíduos na primeira e na segunda sessão, dias 10 e 21 de dezembro de 2015 respectivamente, ambas durante o período de defeso de pesca à enguia. A terceira e quarta sessões de marcação foram realizadas durante a época de pesca, a 15 de janeiro e a 12 de fevereiro de 2016, tendo sido marcados respetivamente 22 e 12 peixes. Na quinta e última sessão foram marcados 11 indivíduos e foi conduzida no dia 7 de março, que correspondeu ao último dia do período de pesca, isto é, um dia antes da abertura da lagoa ao mar. Os transmissores (modelo V7-4L da VEMCO,), com 7 mm de diâmetro e 22,5 mm de comprimento, tinham um tempo médio de vida de 197 dias e pesavam 1,8 g no ar (peso na água = 1 g). A captura de enguias prateadas foi feita por pescadores locais na LSA, recorrendo para isso a nassas. Entre dezembro de 2015 e março de 2016, marcaram-se 74 enguias prateadas (Tab. 2.1). O comprimento total (CT) dos indivíduos variou entre 330 mm e 935 mm e o peso total (PT) variou entre 58 g e 1920 g. Devido ao reduzido número de fêmeas prateadas capturadas na LSA, e à reduzida dimensão dos machos, para alguns dos indivíduos marcados não foi possível respeitar a regra dos 2 % (Jepsen *et al.*, 2004). De acordo com esta regra, tendo em conta o peso do transmissor utilizado, a relação peso do transmissor relativamente ao peso total do indivíduo (i.e., *Total Body Weight Ratio*”), os indivíduos marcados não deveriam ter um peso inferior a 90 g. Contudo, e na sequência do sucesso do trabalho desenvolvido por Monteiro (2015) optou-se por marcar exemplares a partir das 55 g, ou seja, até 3,27 % do TBWR.

A seleção inicial das enguias teve por base diversas características associadas à prateação, isto é, a cor e textura (espessamento) do tegumento dorsal (escuro) e ventral (claro), a forma e cor das barbatanas peitorais (afiladas e escuras), o diâmetro ocular e a conspicuidade da linha lateral que separa a cor dorsal e ventral (Durif *et al.*, 2005; Tesch *et al.*, 2003) (Fig. 2.8).



Figura 2.8 – Ilustração de uma enguia amarela (à esquerda) (autor: dolan©Fotolia) e de uma prateada (conceptcafe©Fotolia).

Para confirmar o início do processo de prateação em todos os indivíduos marcados, foi calculado o I_O (índice ocular) (Eq. 2.1) (Pankhurst, 1982) e o I_B (índice da barbatana peitoral) (Eq. 2.2) de acordo com Durif *et al.*, (2005).

$$(Eq. 2.1) I_O = \left[\frac{(diam.vert.+diam.ho.)}{4} \right]^2 * \frac{\pi}{comp.total} * 100 \quad | \quad (Eq. 2.2) I_B = \frac{comp.barbatana\ peitoral}{comp.total} * 100$$

Este método requer várias medidas biométricas, utilizando apenas características morfológicas externas evidenciadas por indivíduos em fase de pré-migração ou migração para determinar com segurança se os indivíduos iniciaram ou não o processo de prateação. Todas as enguias com $I_O > 6,5$ e/ou $I_B > 4,3$, foram consideradas como tendo iniciado o processo de prateação (Tab. 2.1). Contudo, do total de 74 enguias marcadas, 4 indivíduos tinham um registo de índice ocular inferior a 6,5. No entanto, optou-se por marcar estes indivíduos por apresentarem outras características morfológicas externas típicas da fase prateada (coloração, barbatana peitoral afilada), e muito evidentes. Durante a época de pesca dirigida à enguia-europeia, uma parte dos animais marcados foi recapturada. Depois de realizar uma avaliação à condição física dos animais recapturados, sempre que possível foram devolvidos à LSA ou, na

impossibilidade de o fazer o transmissor foi reutilizado em outro exemplar capturado e o indivíduo foi utilizado noutra componente do projeto onde este trabalho se inseriu.

Os exemplares selecionados para marcação foram anestesiados numa solução de 2-phenoxyethanol, com uma concentração de 0,7 ml por litro de água da lagoa. Depois de anestesiadas, a confirmação de que já se encontrava em processo de prateação foi realizada seguindo o método descrito por Durif *et al.* (2005). Para esse efeito, foi medido o CT (mm) e PT (g) de cada enguia. Com uma craveira digital, mediu-se o diâmetro ocular vertical e horizontal e o comprimento da barbatana peitoral (Fig. 2.9). Após validação do estado de prateação de cada enguia, o indivíduo foi colocado num suporte em V para se proceder à implantação cirúrgica do transmissor. Após desinfetar o local da incisão com Betadine®, utilizou-se um bisturi para realizar uma pequena incisão na linha média ventral, aproximadamente no ponto médio entre o ânus e a cintura escapular. O transmissor foi inserido longitudinalmente na cavidade peritoneal. Para além do transmissor acústico, foi também implantada uma marca tipo PIT (“Passive Integrated Transponder”) (HPT12TM, Biomark) com 2,1 mm de diâmetro e 12,5 mm de comprimento. A incisão foi suturada (3-4 suturas) com uma linha não absorvível (Dafilon DS16 3/0 ou DS12 4/0, BRAUN). No final da cirurgia a área da incisão foi novamente desinfetada com Betadine® e a enguia colocada num tanque de recobro. Entre cada cirurgia, todos os instrumentos cirúrgicos (mesa cirúrgica em V, bisturi, pinça, tesoura e porta agulhas) foram desinfetados com álcool (96%). As enguias marcadas foram novamente colocadas num viveiro dentro da LSA durante um período de recobro de aproximadamente 24 a 48 h sendo posteriormente libertadas (Fig. 2.10).

Tabela 2.1 – Dados das enguias prateadas marcadas. As datas de marcação e libertação dos indivíduos bem como o sexo são também apresentados na tabela

Código indivíduo	Código Transmissor	Código PIT tag	C _T (mm)	P _T (g)	TBWR* ²	I _B	I _O	Marcação	Libertação	Sexo* ³
Aa1	38457	3DD.003BE0E591	340	61,07	2,94	5,38	11,37	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa2	38451	3DD.003BE0E5BA	345	72,93	2,47	5,23	11,79	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa3	38456	3DD.003BE0E5D1	400	99,53	1,81	4,89	12,35	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa4	38449	3DD.003BE0E5D9	368	63,63	2,82	5,27	12,39	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa5	38454	3DD.003BE0E58A	377	86,1	2,09	6,27	11,06	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa6	38458	3DD.003BE0E57D	401	85,53	2,10	4,68	11,98	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa7	38452	3DD.003BE0E5A9	339	65,82	2,73	5,89	10,98	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa8	38450	3DD.003BE0E59B	358	74,06	2,43	5,69	12,42	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa9	38455	3DD.003BE0E58D	363	79,23	2,27	5,12	8,86	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa10	38446	3DD.003BE0E58C	395	115,65	1,56	4,66	10,84	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa11	38447	3DD.003BE0E586	341	57,74	3,12	5,66	8,14	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa12	38448	3DD.003BE0E594	332	55,36	3,25	5,51	12,64	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa13	38445	3DD.003BE0E5DD	345	58,7	3,06	5,8	12,3	2015-12-10	2015-12-10	M
Aa14	38443	3DD.003BE0E5DB	363	73,5	2,45	5,07	11,69	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa15	38444	3DD.003BE0E59A	352	73,59	2,45	4,94	8,17	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa16	38442	3DD.003BE0E57A	399	88,41	2,03	4,86	10,16	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa17	38441	3DD.003BE0E5A2	385	81,77	2,20	5,1	12,93	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa18	38440	3DD.003BE0E590	371	76,44	2,35	4,74	9,57	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa19	38439	3DD.003BE0E5CB	343	73,19	2,46	6,16	7,47	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa20	38438	3DD.003BE0E5AF	351	65,32	2,75	4,62	8,12	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa21	38437	3DD.003BE0E581	349	71,49	2,52	5,06	7,29	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa22	38436	3DD.003BE0E5C9	364	77,3	2,33	6,08	8,33	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa23	38435	3DD.003BE0E5B6	384	92,97	1,94	5,96	9,99	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa24	38434	3DD.003BE0E5A5	392	80,26	2,24	4,73	8,41	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa25	38433	3DD.003BE0E5CF	392	103,42	1,74	5,83	7,95	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa26	38432	3DD.003BE0E597	348	64,96	2,77	6,01	8,48	2015-12-21	2015-12-22	M
Aa27	38418	3DD.003BE0E68F	684	610,0	0,29	4,57	8,55	2016-01-15	2016-01-16	F

Tabela 2.1 – Continuação

Código indivíduo	Código Transmissor	Código PIT tag	C _T (mm)	P _T (g)	TBWR* ²	I _B	I _O	Marcação	Libertação	Sexo* ³
Aa28	38431	3DD.003BE0E652	654	570,0	0,32	4,39	10,99	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa29	38423	3DD.003BE0E64B	750	670,0	0,27	5,03	8,66	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa30	38425	3DD.003BE0E64F	705	720,0	0,25	5,82	12,71	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa31	38424	3DD.003BE0E671	729	690,0	0,26	4,94	13,05	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa32	38426	3DD.003BE0E6A4	792	960,0	0,19	5,07	12,1	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa33	38428	3DD.003BE0E6A1	816	1112,0	0,16	4,76	12,18	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa34	38416	3DD.003BE0E682	935	1920,00	0,09	4,81	13,23	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa35	38417	3DD.003BE0E673	791	1050,0	0,17	5,37	10,43	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa36	38427	3DD.003BE0E65C	715	720,0	0,25	4,76	12,34	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa37	38415	3DD.003BE0E689	605	410,0	0,44	5,53	13,53	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa38	38430	3DD.003BE0E648	928	1630,0	0,11	4,31	11,97	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa39	38429	3DD.003BE0E66C	737	700,0	0,26	4,76	11,34	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa40	38421	3DD.003BE0E670	650	480,0	0,38	5,26	12,19	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa41	38420	3DD.003BE0E693	731	760,0	0,24	5,09	11,45	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa42	38419	3DD.003BE0E67A	668	550,0	0,33	4,8	11,3	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa43	38422	3DD.003BE0E6A2	700	620,0	0,29	5,16	10,37	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa44	38414	3DD.003BE0E654	696	690,0	0,26	4,43	9,88	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa45	38413	3DD.003BE0E649	760	810,0	0,22	4,13	11,29	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa46	38412	3DD.003BE0E665	770	850,0	0,21	4,05	11,35	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa47	38411	3DD.003BE0E644	701	610,0	0,30	4,39	10,98	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa48	38410	3DD.003BE0E66E	592	390,0	0,46	5,35	9,59	2016-01-15	2016-01-16	F
Aa49	38431	3DD.003BE0E68E	730	720,0	0,25	5,13	12,6	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa50	38410	3DD.003BE0E65C	773	810,0	0,22	5,37	10,06	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa51	38407	3DD.003BE0E675	573	294,00	0,61	5,1	8,34	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa52	38408	3DD.003BE0E678	340	80,15	2,24	6,41	7,77	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa53	38445	3DD.003BE0E64A	340	70,53	2,55	5,29	6,01	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa54	38409	3DD.003BE0E688	373	76,58	2,35	5,09	8,23	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa55	38417	3DD.003BE0E69A	357	82,66	2,18	5,32	7,27	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa56	38441	3DD.003BE0E66D	577	306,20	0,59	5,37	11,03	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa57	38429	3DD.003BE0E66F	352	81,29	2,21	5,68	5,03	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa58	38419	3DD.003BE0E692	710	530,00	0,34	5	9,46	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa59	38427	3DD.003BE0E686	817	1120,00	0,16	5,02	10,6	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa60	38451	3DD.003BE0E684	794	840,00	0,21	5,73	9,89	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa61	38439	3DD.003BE0E651	387	89,07	2,02	6,33	9,94	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa62	38447	3DD.003BE0E64C	404	107,66	1,67	5,57	8,86	2016-02-12	2016-02-16	M
Aa63	38430	3DD.003BE0E642	744	593,00	0,30	5,65	10,56	2016-02-12	2016-02-16	F
Aa64	38415	3DD.003BE0E8B1	705	650,00	0,28	6,87	11,39	2016-03-07	2016-03-09	F
Aa65	38440	3DD.003BE0E8BF	570	325,00	0,55	5,77	10,27	2016-03-07	2016-03-09	F
Aa66	38450	3DD.003BE0E8OI	476	230,00	0,78	5,64	8,13	2016-03-07	2016-03-09	F
Aa67	38408	3DD.003BE0E8A5	362	87,07	2,07	5,79	8,3	2016-03-07	2016-03-09	M
Aa68	38446	3DD.003BE0E8F5	349	82,30	2,19	5,19	7,2	2016-03-07	2016-03-09	M
Aa69	38426	3DD.003BE0E8BE	361	80,26	2,24	5,27	7,86	2016-03-07	2016-03-09	M
Aa70	38431	3DD.003BE0E8E2	345	77,72	2,31	5,2	4,8	2016-03-07	2016-03-09	M
Aa71	38429	3DD.003BE0E8B4	557	346,42	0,52	5,2	7,89	2016-03-07	2016-03-09	F
Aa72	38412	3DD.003BE0E8FC	346	75,42	2,39	4,94	5,54	2016-03-07	2016-03-09	M
Aa73	38419	3DD.003BE0E8AD	374	93,53	1,92	5,43	6,78	2016-03-07	2016-03-09	M
Aa74	38410	3DD.003BE0E8F1	385	100,68	1,79	5,26	9,38	2016-03-07	2016-03-09	M
Média			523	371,21	0,71	5,25	9,98			

* C_T - comprimento total, P_T - peso total, I_B - índice da barbatana peitoral, I_O - índice ocular.*² Peso do transmissor (em %) relativamente ao peso total, ("Total Body Weight Ratio").

*³ Determinação do sexo dos indivíduos segundo o critério definido por Durif *et al.*, (2005) (M – Macho: indivíduos ≤ 45 cm; F – Fêmeas: indivíduos > 45 cm).

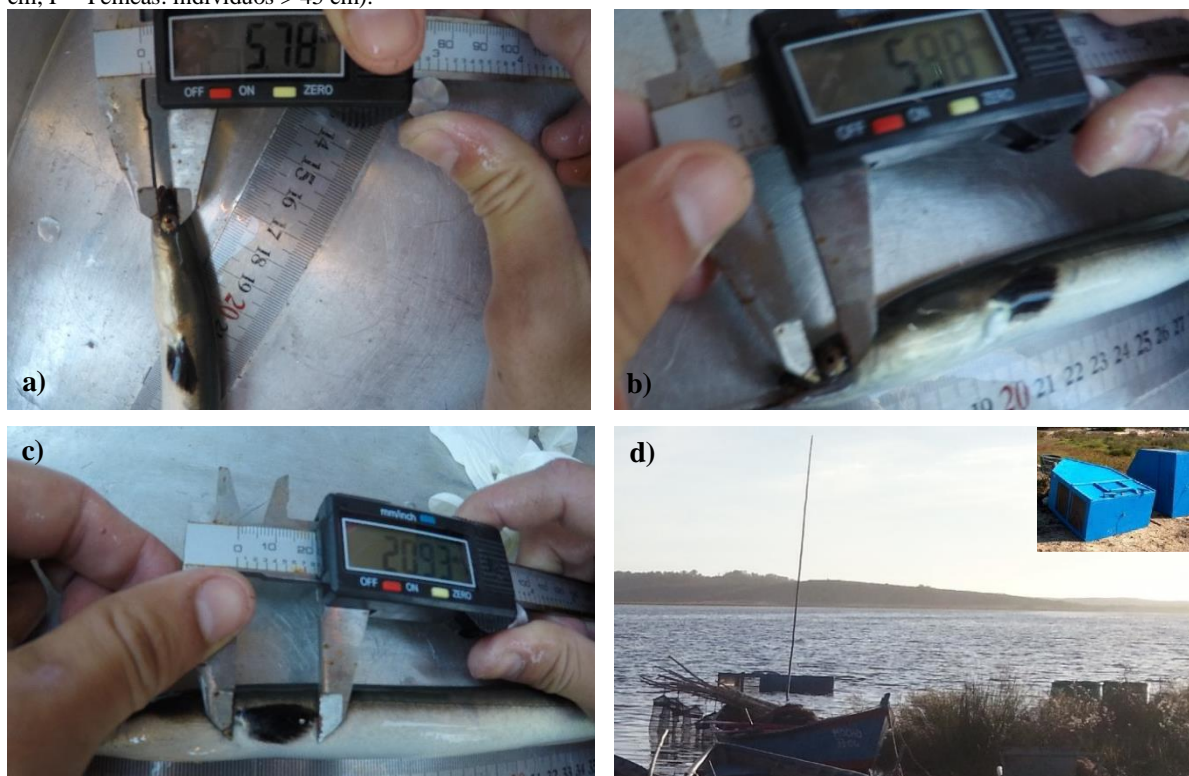


Figura 2.9 – Medição dos parâmetros biométricos para confirmação do estado de prateação: diâmetro ocular vertical (a), diâmetro ocular horizontal (b), e comprimento da barbatana peitoral (c). Pode ainda observar-se o tipo de viveiro onde se colocaram as enguias durante a fase de recuperação pós implantação do transmissor (d). Um pormenor do viveiro, fora de água, pode ainda ser observado no topo da fotografia da lagoa.

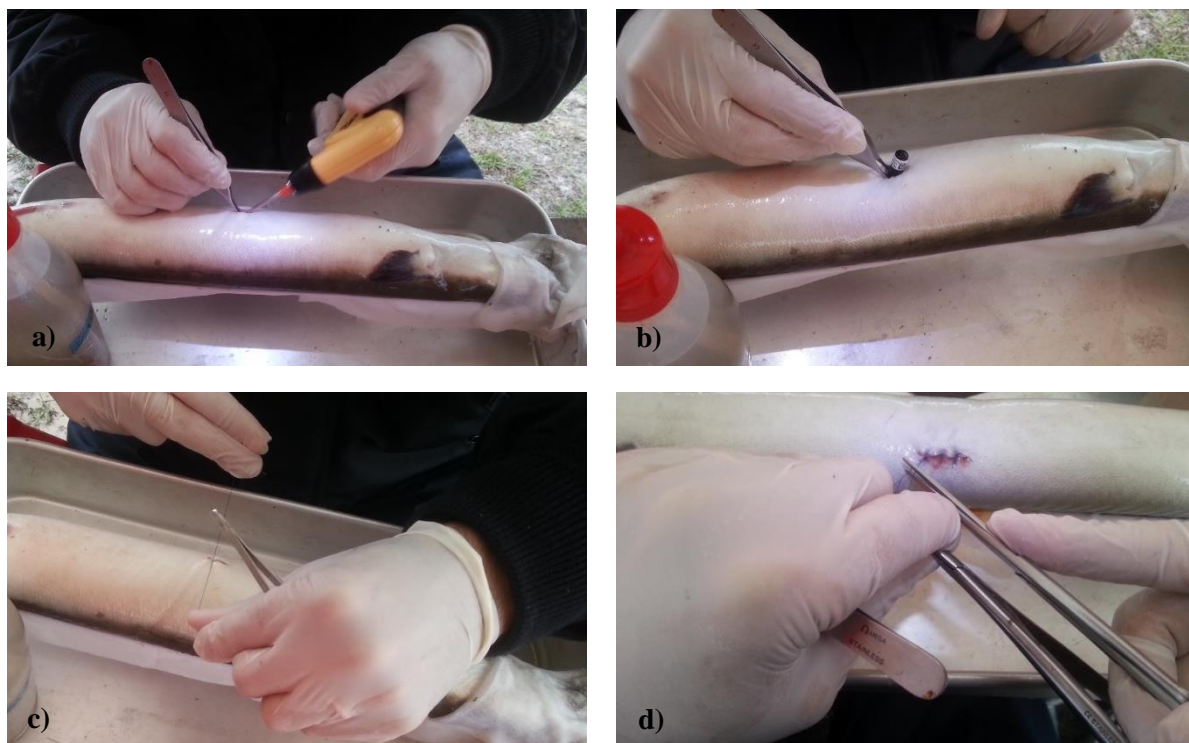


Figura 2.10 – Implantação interna dos transmissores. Introdução da marca PIT (a) e do transmissor (b) na cavidade peritoneal, suturação da incisão (c e d).

2.2.3. Monitorização dos desembarques

Após ter sido constatado que um elevado número de enguias marcadas eram recapturadas logo no início da época de pesca, optou-se por monitorizar os desembarques da pesca numa tentativa de recuperar as enguias prateadas que eram capturadas pelos pescadores para libertação do exemplar ou reutilização do transmissor, maximizando, assim, a recolha de informação pretendida (Fig. 2.11). Para esse efeito, e com a participação da maioria dos profissionais da pesca na Lagoa de Santo André, foram monitorizados diariamente os desembarques durante o período em que a pesca dirigida a esta espécie é mais intensa, de 1 de janeiro até ao final de fevereiro e de 17 a 22 de julho, aquando da reabertura da época de pesca. A identificação dos exemplares marcados foi feita com um leitor das marcas PIT (HPR Plus, Biomark). Sempre que foi recolhido um animal marcado, este era colocado no viveiro até ao final dos desembarques desse dia e, caso evidenciasse uma boa condição física, era seguidamente libertado.

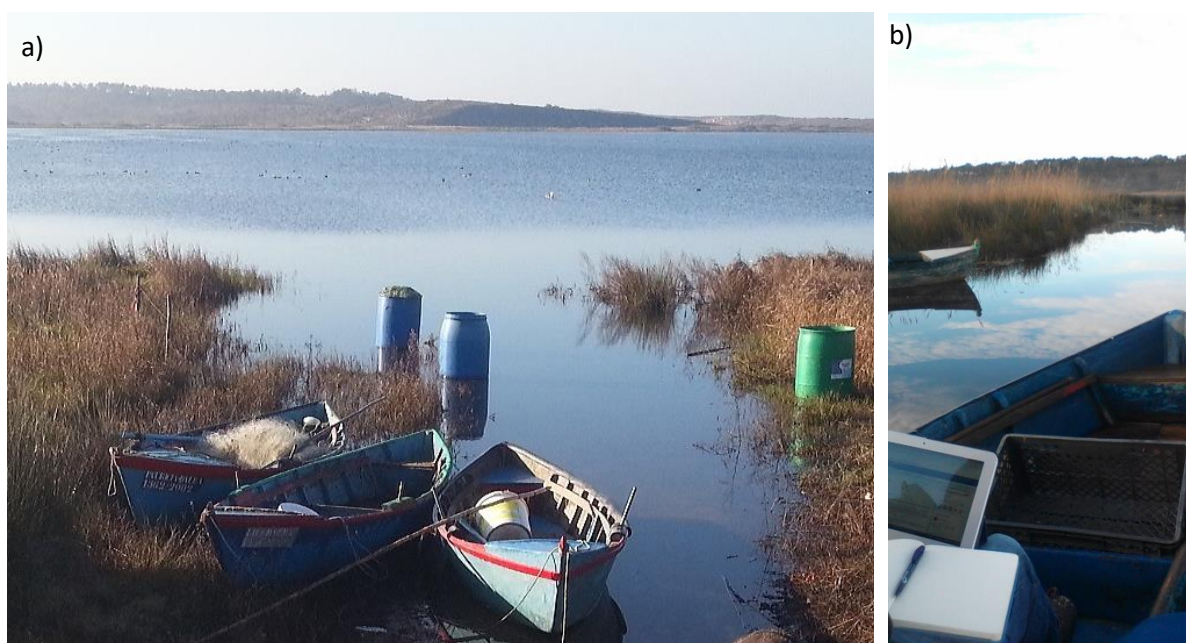


Figura 2.11 – Porto de desembarque junto ao parque de campismo (a) e tipo de barco de pesca usado na Lagoa de Santo André onde se observam os exemplares capturados pela pesca (b).

2.2.4. Telemetria manual

A monitorização manual dos indivíduos marcados foi realizada com um recetor acústico manual portátil (VR100, VEMCO) e um hidrofone omnidirecional manual (VH165, VEMCO). A informação obtida complementa a restante, na medida em que foi possível monitorizar pontualmente a área da LSA não coberta pela rede fixa de monitorização. Esta abordagem metodológica foi direcionada para o período pós-abertura da lagoa ao mar e teve como principal objetivo detetar indivíduos que apesar de terem prateado acabaram por não escapar da LSA. Para maximizar a eficiência desta monitorização, e particularmente no caso de espécies bentónicas que se refugiam como a enguia-europeia, é conveniente que a sua prospeção seja realizada quando os indivíduos se encontram em atividade para maximizar a probabilidade de detetar os indivíduos durante as prospeções. Como tal, foram escolhidas duas noites de lua nova, dias 5 e 6 de julho de 2016, tendo o *tracking* manual sido iniciado durante o período de crepúsculo. A prospeção foi realizada definindo transectos afastados 100 m entre si, de forma a cobrir a área da lagoa a prospectar (Fig. 2.12). A confirmação dos resultados obtidos foi feita numa terceira sessão de monitorização manual, dia 17 de julho, escrutinando novamente os locais de deteções anteriores.



Figura 2.12 – Mapa com os percursos das 2 sessões de *tracking* manual, dia 5 e dia 6 de julho de 2016 (a amarelo e a azul respetivamente).

2.3. Análise de dados

2.3.1. Aferição da eficiência de detecção da rede de monitorização automática

Para interpretar corretamente o que representa cada detecção e os resultados obtidos a partir das mesmas, é necessário aferir a eficiência de detecção dos equipamentos (Melnychuk, 2012). De acordo com o trabalho desenvolvido por Payne *et al.* (2010), a ausência de conhecimento detalhado sobre a variabilidade da eficiência da rede de monitorização pode propiciar conclusões erróneas sobre o comportamento da espécie em estudo.

Para que a interpolação de dados produza resultados corretos, é importante que as medidas sejam bem distribuídas pela área de interesse (Hengl *et al.*, 2004). Neste sentido, desenvolveu-se o “*rangetest*” ativo. Em cada estação definida para medir a eficiência de detecção da rede de monitorização automática instalada no interior da LSA procedeu-se ao cálculo da eficiência de detecção (ED) da seguinte forma (Eq. 3):

$$\text{(Eq. 2.3) } ED = \text{n.º de sinais recebidos no recetor} / \text{n.º total de sinais emitidos pelo transmissor}$$

Através de um método geoestatístico - Kriging - foi possível fazer um mapeamento contínuo na área de estudo interpolando a eficiência de detecção medida nos locais amostrados na área de estudo (Fig. 2.13) (Krig, 1951). A escolha deste procedimento no presente estudo teve por base a irregularidade espacial da variável de estudo medida no campo, que é demasiado grande para ser modelada por uma simples equação matemática. Este algoritmo de alisamento ou de interpolação de pontos faz uma regressão da variável medida, utilizando as coordenadas espaciais como variáveis explicativas e assumindo que os erros estão autocorrelacionados (Hengl, 2009). O *Universal-Kriging* (Matheron, 1969) é uma extensão do “*Ordinary-Kriging*”, que estima os componentes da tendência dentro da “vizinhança” e depois aplica *Kriging* simples nos resíduos correspondentes, ideal quando se conhece uma tendência local na variável. No presente estudo verifica-se a diminuição da eficiência de detecção com o aumento da distância aos recetores, de forma irregular ao longo da área de estudo e por isso aplicou-se o *Universal-Kriging*. Esta análise foi conduzida no programa ArcGIS 10.3® da ESRI (Environmental Systems Research Institute, Redlands, California, USA) e o tamanho de célula para o *raster* foi escolhido automaticamente pela ferramenta ($5,0732 \times 10^{-5}$).

Determinadas condições ambientais podem condicionar significativamente a eficiência de detecção da rede de recetores acústicos montada no interior da LSA (Huveneers *et al.*, 2016). Para aferir a eficiência da rede de monitorização sob um gradiente de condições ambientais realizou-se o “*rangetest*” passivo. A análise da eficiência da detecção com os cinco transmissores sentinela colocados na área de estudo no interior da LSA foi contínua, entre 27 de abril e 23 de maio de 2016 (27 dias – retirou-se o 1.º e último dia em que os transmissores estiveram operacionais) (Eq. 4).

$$\text{(Eq. 2.4) } ED = \text{nº de sinais recebidos no recetor} / \text{nº total de sinais enviados pela marca sentinela}^*$$

* - Assumiu-se que o transmissor enviou em média um sinal acústico a cada 60 s

2.3.2. Análise do padrão de movimentos

As recapturas e as deteções totais obtidas serão apresentadas graficamente com o *software* Tableau 9.3.

A mesma técnica utilizada para aferir a eficiência de deteção (i.e., *kriging*) podia ser utilizada para estimar a densidade de utilização de um dado grupo de animais, todavia esta técnica é mais indicada para amostras bem distribuídas e intensivas, como as realizadas no *range test* ativo, e dado o espaçamento entre recetores não é compatível com as localizações obtidas. Por esse motivo optou-se por analisar o padrão de utilização de habitat das enguias prateada marcadas com base em técnicas de alisamento kernel. A *Kernel Density Estimation* (KDE) é uma técnica de análise espacial não paramétrica, que estima diretamente uma função de probabilidade bivariada numa dada área (Silverman, 1986; Worton, 1989). Esta é considerada uma das melhores formas para identificar o *home range* (área utilizada) e *core range* (área mais utilizada) numa determinada área de estudo (Powell, 2000; Kie *et al.*, 2010). O *home range* e *core range* delimitam uma área utilizada e uma área mais utilizada com, respetivamente, 50 % de probabilidade de ocorrência, e outra com 95 % de probabilidade de ocorrência de indivíduos marcados. O investigador define determinados parâmetros, como o tamanho de célula, e o raio de procura de referência (h) que faz variar a dispersão da KDE em torno de cada localização. A melhor forma de determinar corretamente o h advém de uma abordagem exploratória cuidada dos dados do tipo tentativa-erro, variando o valor de h (Silverman, 1986; Kie *et al.*, 2010). Ainda que o h seja o parâmetro mais influente no resultado, quando se pretende obter informação suficiente relativamente à distribuição dos animais, incluindo o *core range*, a precisão do valor h não é crucial (Worton, 1989). Para realização da análise KDE recorreu-se à extensão *Geospatial Modelling Environment* (GME) (Beyer, 2015), seguindo-se o mapeamento dos registos obtidos através da rede automática de telemetria com uma periodicidade quinzenal, no programa ArcGIS da ESRI (10.3®).

Após a análise exploratória, em que se verificou o resultado da análise com valores *plugin* até 150 m e com valores estimados pelo método *ad hoc* (h_{ref}) (Worton, 1989), optou-se por um tamanho da célula de 5 metros e h_{plugin} fixo de 125 m. O mapeamento dos resultados foi feito incluindo os limites das áreas *home range* e *core range*. A análise foi feita para machos, fêmeas e população total, num período que se estendeu desde que os primeiros indivíduos foram libertados até ao encerramento da livre circulação entre a lagoa e o mar (Fig. 2.13). A informação foi analisada de forma periódica em 6 períodos que correspondem a dezembro (11-12-2015 a 31-12-2015), janeiro (01-01-2016 a 15-01-2016; 16-01-2016 a 31-01-2016), fevereiro (01-02-2016 a 15-02-2016; 16-02-2016 a 29-02-2016), e ao período em que a lagoa esteve em contacto com o mar (08-03-2016 a 17-03-2016).



Figura 2.13 – Fotografias da zona da Aberta e do canal no último dia de comunicação com o mar (17-03-2016).

O estudo do padrão de movimentos foi complementado com uma técnica de análise de redes (AR), no programa UCINET 6 for Windows versão 6.616 (Borgatti *et al.*, 2002). Esta técnica começou recentemente a ser utilizada em estudos de ecologia como ferramenta estatística para determinar padrões de movimentação e utilização de habitat (Urban e Keitt 2001; Makagon *et al.*, 2013; Jacoby *et al.*, 2016). A AR permite quantificar as interações que existem entre as posições dos nós de uma rede (coordenadas dos recetores) ligados por arestas (deslocamentos entre as áreas de deteção dos recetores, i.e. de coordenada para coordenada), com métricas associadas a cada nó para avaliar a estrutura e atributos da rede (Jacoby *et al.*, 2012). A informação obtida pela AR é importante para complementar os resultados da KDE porque permite identificar vetores de deslocação que traduzem padrões de movimentação na área coberta pela rede de receptores (Jacoby *et al.*, 2012; Makagon *et al.*, 2013). A AR permite o cálculo de diversas métricas (Tab. 2.2). O grau de centralidade e a centralidade de intermediação, ou “*Betweenness centrality*” (Eq. 2.5), são métricas simples do grau de participação de cada nó na rede e facilmente aplicáveis a redes de elevada complexidade (Freeman, 1977, Gómez *et al.*, 2013). Quando existe informação sobre o sentido da trajetória, são particularmente importantes para analisar o comportamento de fidelidade a determinados locais a *Indegree Centrality* (Eq. 2.6) (InDC) e a *Outdegree Centrality* (Eq. 2.7) (OutDC). A análise foi feita para machos, fêmeas e população total, desde que os primeiros indivíduos foram libertados até à semana em que se estabeleceu a livre circulação entre a lagoa e o mar. A informação foi analisada com as métricas indicadas na tabela 2.2, de forma periódica para os mesmos 6 períodos considerados na análise KDE.

Tabela 2.2 – Métricas calculadas na Análise de Redes

Métrica	Fórmula	Resultado da métrica
<i>Betweenness Centrality</i>	(Eq. 2.5) $C_B(n_i) = \sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / g_{jk} g_{jk}$ Onde g_{jk} = nº de segmentos entre “jk”, e onde $g_{jk}(n_i)$ = nº de segmentos em que o recetor i está presente.	Reflete a proporção de intermediação, ou seja, calcula o número de vezes que o recetor em análise está contido nos segmentos de reta de outros dois recetores.
<i>InDegree centrality</i>	(Eq. 2.6) $c_D^{in}(i) = k_i^{in}$ Onde k_i^{out} = nº de ligações que chegam ao recetor.	Reflete o número de ligações direcionadas ao recetor em análise.
<i>OutDegree centrality</i>	(Eq. 2.7) $c_D^{out}(i) = k_i^{out}$ Onde k_i^{out} = nº de ligações que partem do recetor.	Reflete o número de ligações que partem do recetor em análise.

De modo a identificar variáveis ambientais que condicionam a atividade migratória da enguia prateada no interior da LSA, desenvolveu-se um Modelo Linear Generalizado (GLM). Os GLM são extensões dos modelos lineares simples que permitem incorporar distribuições não normais das variáveis resposta e transformações das variáveis dependentes (McCullagh e Nelder, 1989). Optou-se por utilizar o número de deteções como *proxy* da atividade migratória das enguias marcadas, juntamente com um conjunto de 8 variáveis ambientais explicativas. O modelo foi desenvolvido com recurso ao software RStudio v0.99.486 (RStudio, Inc., Boston, USA) e aos respetivos pacotes de programas “MASS” e respetivas funções (Venables e Ripley, 2002). A implementação de um critério de seleção dos modelos foi feita com a função “step.AIC” do pacote de programas “MASS”, e baseia-se na estimativa da informação perdida para efetuar a comparação entre modelos até atingir o modelo saturado, que considera que cada observação tem os seus parâmetros (modelo com n parâmetros). O modelo com menor perda de

informação (menor valor de AIC) foi considerado o melhor, e foi considerado aquele em que, ao adicionar uma nova variável, a variabilidade explicada do seguinte modelo não variava mais de 0,5 %.

Os parâmetros ambientais utilizados como variáveis explicativas foram: a temperatura da água [°C] e salinidade medidas por uma sonda multiparamétrica (Hobo Datta logger U24-002-C) que efetuou medições a cada 30 min junto à zona da Aberta; a precipitação total [mm], a pressão atmosférica [hPa], a direção [N, S, E, O] e a intensidade do vento [m/s] (dados adquiridos ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera); fase da lua (Quarto Crescente, Lua Cheia, Quarto Minguante e Lua Nova) e o período Dia/Noite, segundo o Observatório Astronómico de Lisboa. O intervalo de tempo utilizado nesta componente compreendeu o período de tempo desde a primeira libertação de indivíduos marcados, desde 10 de dezembro até ao final de fevereiro, não incluindo o período durante o qual a LSA se manteve aberta ao mar.

A análise do padrão de movimentos dentro da lagoa compreendeu um procedimento para eliminar comportamentos anormais que tenham sido detetados pela rede de monitorização automática durante a captura e após a libertação, retirando da base de dados todos os registos desde 24 h pré-captura até 24 h pós captura. Outros passos foram tomados para realizar as restantes análises. A tabela 2.3 resume o tipo de processamento aplicado aos dados, sendo que a base de dados no final da rotina 1 permitiu estudar fatores influentes na atividade migratória (GLM), no final da rotina 4 permitiu estudar a utilização espacial na zona adjacente ao cordão arenoso (KDE). No final da rotina 5 foi possível estudar a movimentação dos indivíduos, no mesmo local (AR). Foram consideradas múltiplas todas as deteções do mesmo indivíduo, efetuadas por recetores distintos, com um intervalo de tempo inferior a 30 segundos.

Tabela 2.3 – Resumo do tipo de processamento preliminar aplicado aos dados obtidos a partir da rede fixa de monitorização automática

Rotina Processamento aplicado aos dados recolhidos para cada indivíduo marcado

- 1** Eliminação na base de dados de todos os registos desde 24 h pré-captura até 24 h pós captura.
- 2** Identificação e classificação das deteções múltiplas
- 3** Atribuição de coordenadas por “triangulação” (poita virtual) de um conjunto de deteções múltiplas à primeira deteção desse mesmo conjunto de deteções múltiplas.
- 4** Remoção das deteções múltiplas, exceto a primeira de cada conjunto (com coordenadas por “triangulação”).
- 5** Identificação da interação entre poitas

3. Resultados

3.1. Eficiência de deteção da rede de monitorização automática

3.1.1. Rangetest ativo

Os resultados do Kriging Universal (Fig. 3.1) demonstram que a eficiência de deteção foi superior a 70 % na generalidade do canal e cerca de 100 % junto ao recetor LSA-1, o mais próximo da Aberta. A área com maior eficiência de deteção situa-se na zona entre os 2 recetores mais a norte.

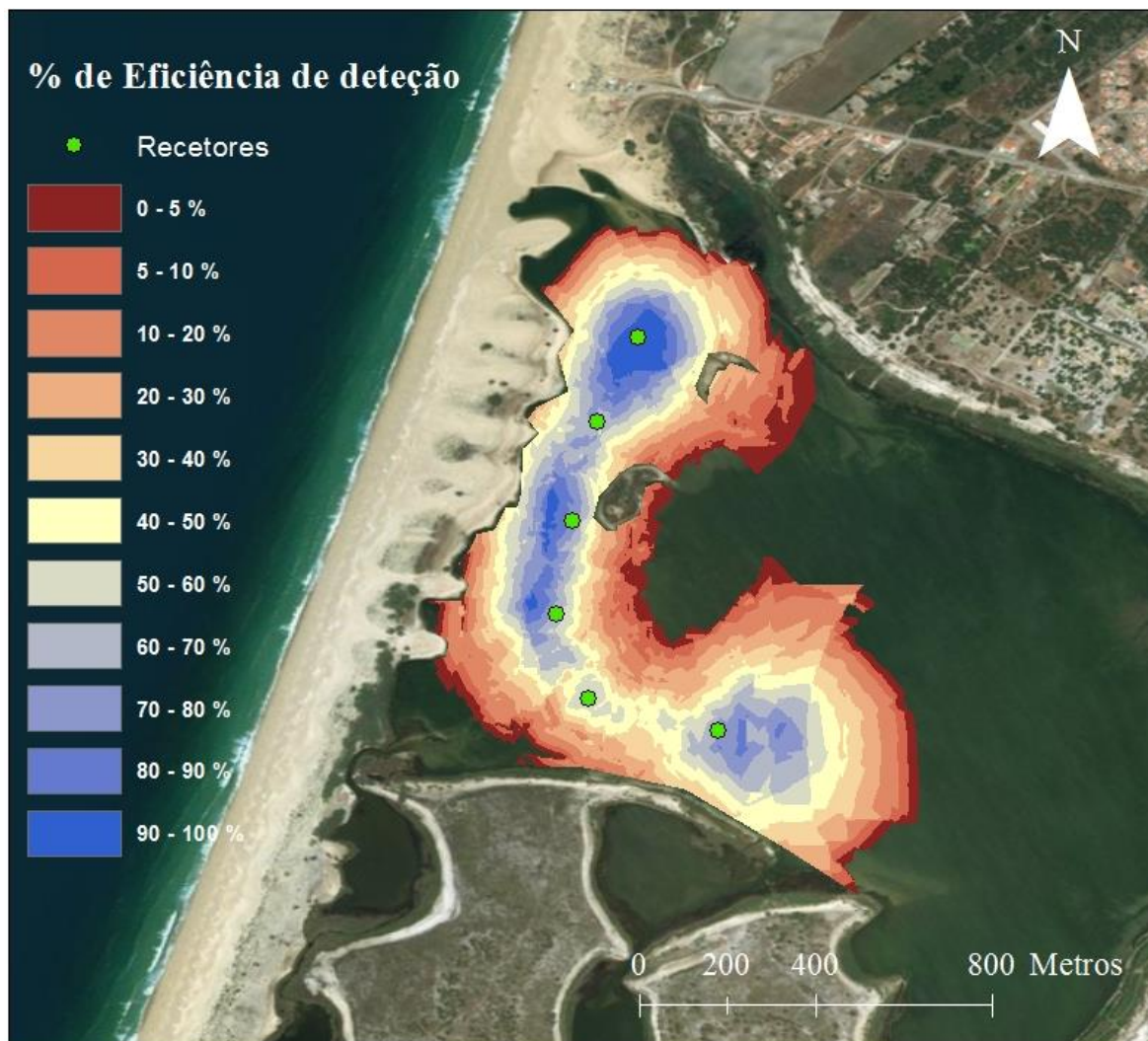


Figura 3.1 – Representação gráfica da análise *Universal Kriging* que ilustra a eficiência de deteção dos recetores acústicos instalados no interior da Lagoa de Santo André, elaborada a partir da interpolação dos 143 pontos de transmissão realizados durante o procedimento “rangetest ativo”.

3.1.2. Rangetest passivo

Entre 27 de abril e 23 de maio, as cinco marcas sentinelas colocadas na área de estudo no interior da LSA, forneceram dados que permitem analisar a eficiência da rede de monitorização ao longo de um gradiente de condições ambientais, em particular de carácter climatérico. A relação entre a eficiência de detecção (ED) e a distância apresenta-se na figura 3.2, onde se verifica que a uma distância de 100-150 metros, a eficiência de detecção diminui para cerca de 50-60%, decrescendo exponencialmente com a distância (valor de $P < 0,05$), até valores próximos de 10 % a cerca de 500 m. A ED ao longo do dia encontra-se representada na figura 3.3. Nas figuras 3.4 e 3.5 apresenta-se a relação entre a ED, o vento e a precipitação.

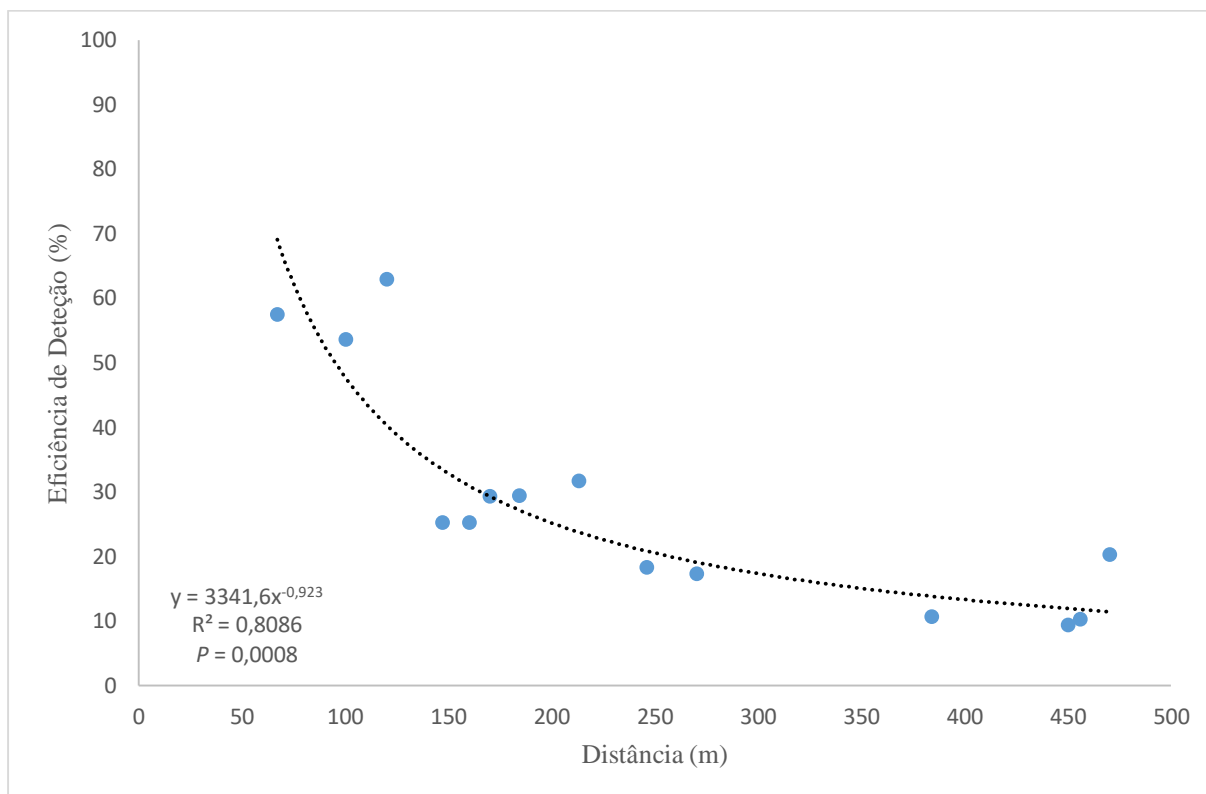


Figura 3.2 – Gráfico de dispersão de pontos com reta de regressão, relacionando a eficiência de detecção com a distância do transmissor sentinela a cada recetor.

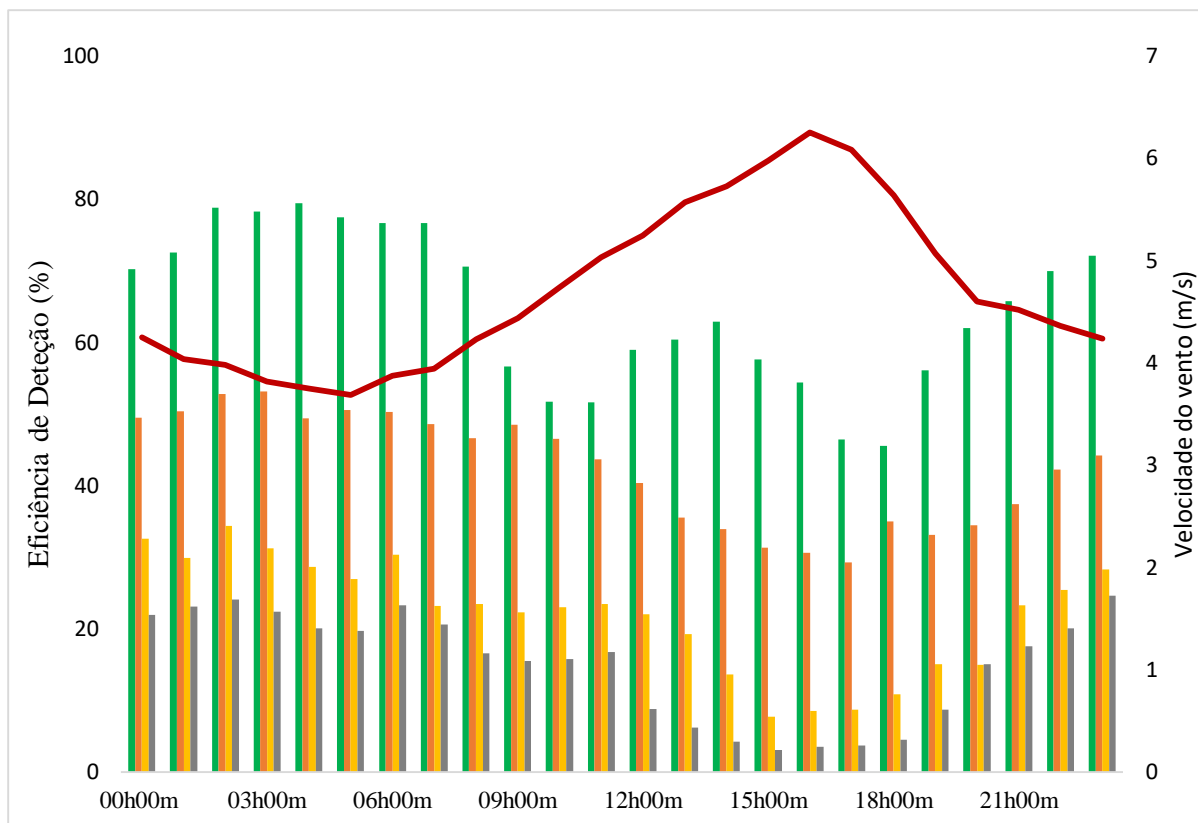


Figura 3.3 – Variação circadiana da eficiência de recepção a classes de distância entre o transmissor sentinela e o receptor diferentes (verde: 0-100m ; laranja: 100-200m; amarelo: 200-400m ; cinzento > 400m). No eixo secundário pode ler-se a velocidade do vento. Adicionalmente, rotulou-se a linha do vento com a direção.

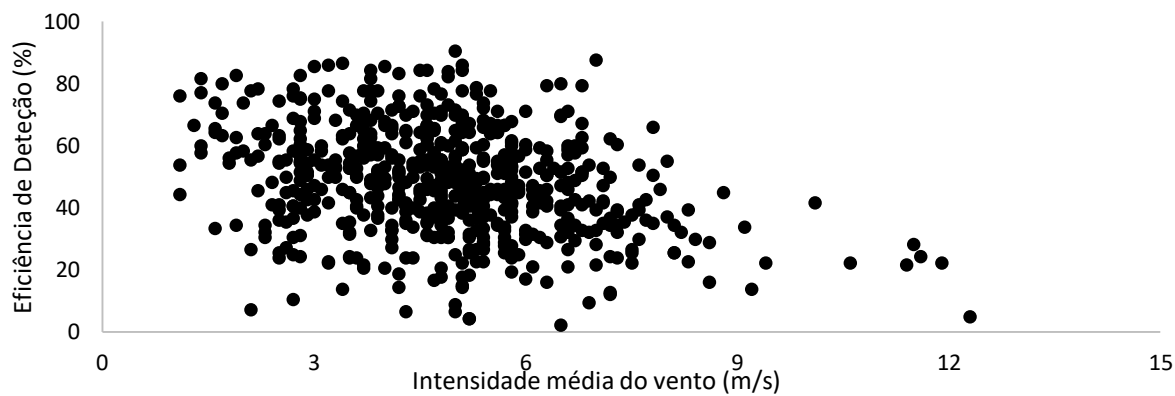


Figura 3.4 – Relação entre a eficiência de detecção e a intensidade do vento

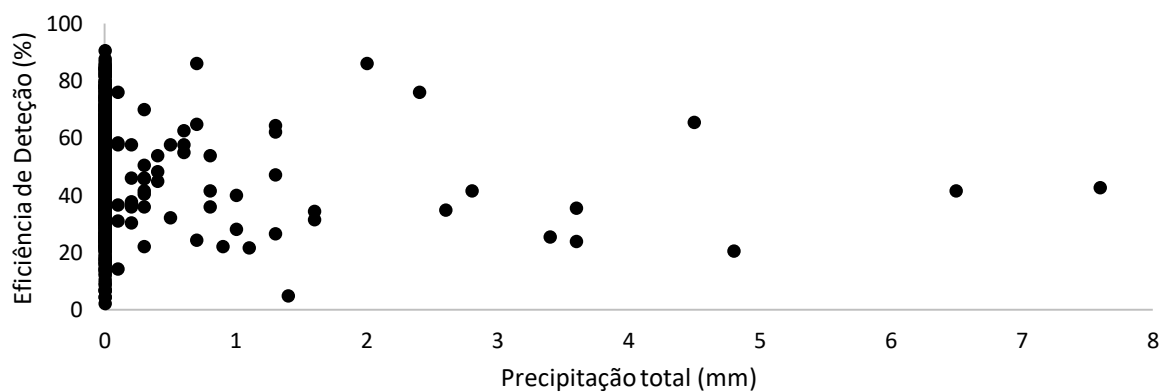


Figura 3.5 – Relação entre a eficiência de detecção e a precipitação total.

3.2. Cronograma de marcações e recapturas da amostra

No conjunto das 5 sessões de marcação realizadas ao longo do período de estudo, foram marcados 74 indivíduos, dos quais 11 foram marcados durante a abertura da lagoa, quando a pesca se encontrava interdita. A amostra foi composta por um número semelhante de machos e fêmeas, 54 % e 46 % respetivamente. No entanto, no início do período de estudo, em dezembro, não foi possível capturar e libertar fêmeas marcadas. O CT (mm) médio foi 523 mm, o máximo foi 935 mm e o mínimo foi 340 mm. O peso total (PT) variou entre 70,53 g e 1920 g, sendo em média 371,21 g. O I_o variou entre 4,80 e 13,53 e o I_B entre 4,05 e 6,87.

Dos 63 indivíduos, que foram marcados e libertados enquanto a lagoa se encontrava fechada, *i.e.*, durante a época de pesca, apenas 20 não foram recapturados. A maioria das recapturas estão concentradas no início da época de pesca, registando-se até 7 indivíduos recapturados num só dia. O indivíduo número 9 foi o que mais vezes foi recapturado, tendo até dia 7 de fevereiro contabilizado 9 recapturas. No total, registaram-se 92 recapturas durante a época de pesca [01-01-2016 a 07-03-2016], que sucedeu a época de defeso (Fig. 3.6).

Na figura 3.7 podem observar-se os dias em que houve deteções dos indivíduos, até à data de levantamento dos recetores da lagoa. Todos os indivíduos marcados entre dezembro e fevereiro foram detetados pela rede de monitorização automática durante o período de estudo que antecedeu a abertura da lagoa. Durante o período de livre circulação entre a lagoa e o mar detetaram-se 16 indivíduos, dos quais 14 não voltaram a ser detetados pela rede de receptores colocada no interior da LSA. Após esse período, até à data de levantamento dos recetores, foi detetado 1 indivíduo que não havia sido detetado durante o período em que a lagoa esteve aberta ao mar.

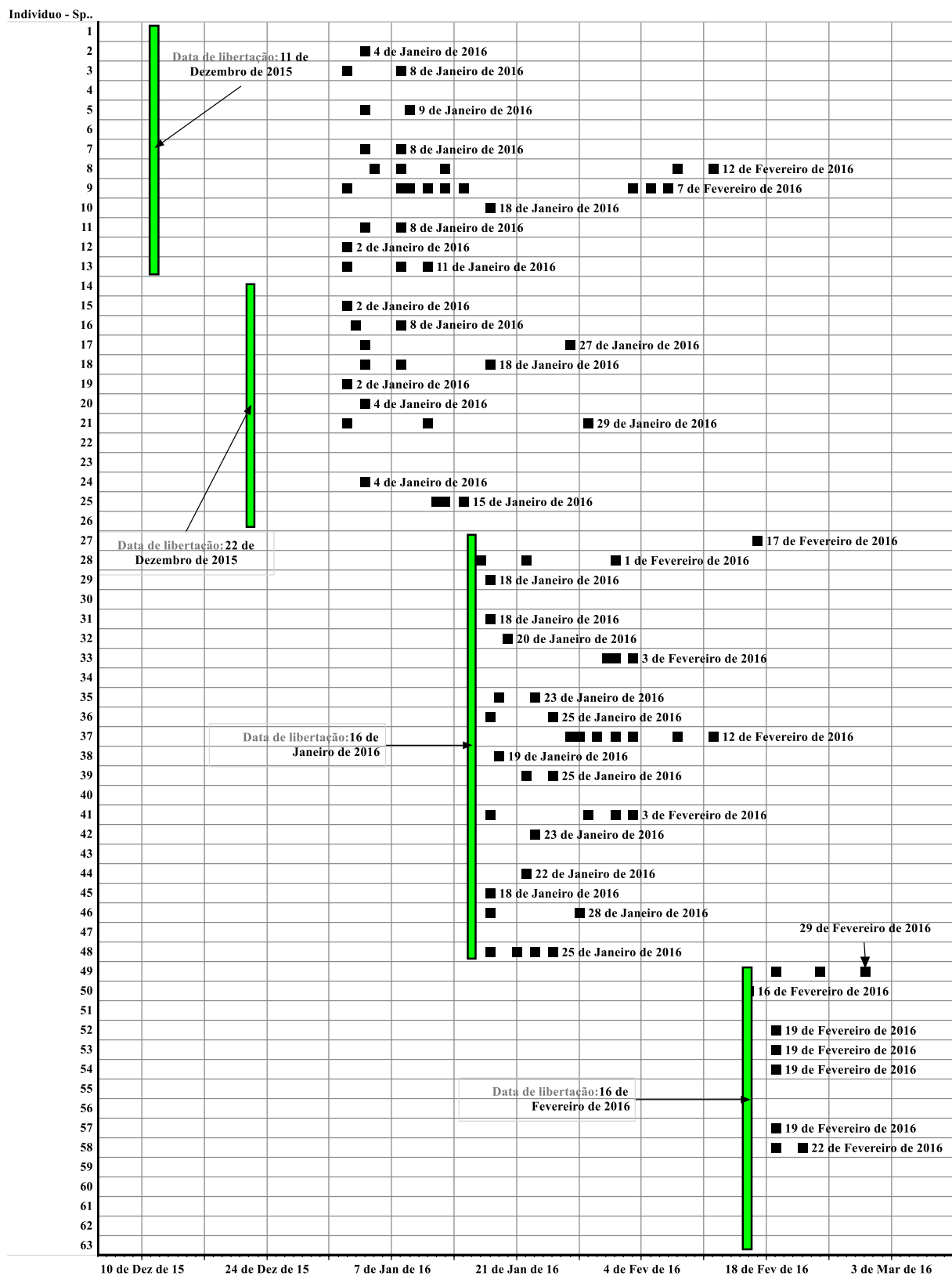


Figura 3.6. Registo da data de libertação (a verde) das enguias-prateadas e da(s) data(s) de recaptura monitorizadas durante a época de pesca [01-01-2016, 07-03-2016] (a preto). À direita da última recaptura de cada indivíduo encontra-se identificada a respetiva data.

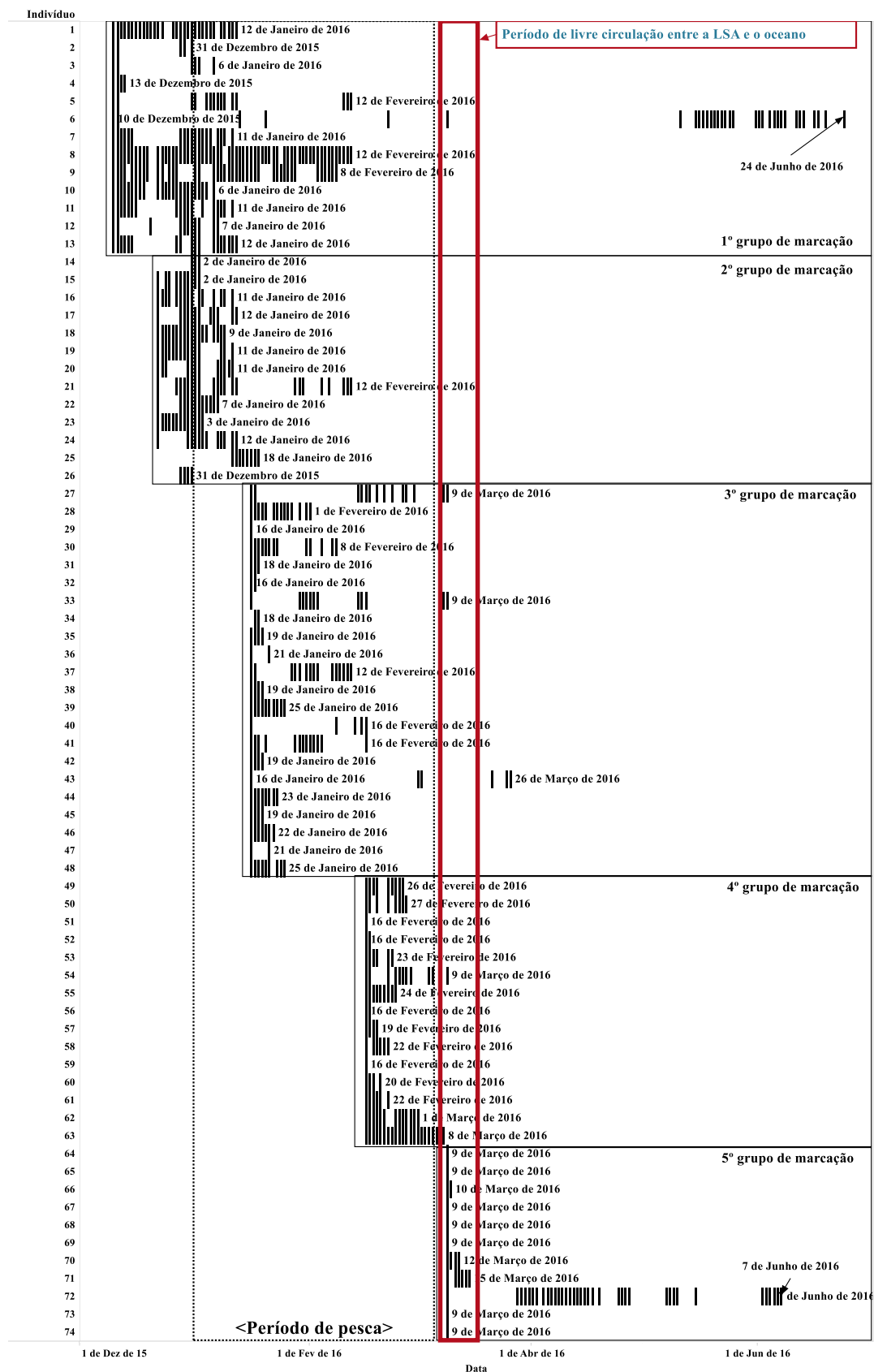


Figura 3.7. Detecções dos indivíduos até à data de levantamento dos recetores da lagoa [10-12-2015, 27-06-2016]. Cada barra indica pelo menos uma deteção de um indivíduo num determinado dia. À direita da última deteção de cada individuo encontra-se a respetiva data. O período de pesca [01-01-2016, 07-03-2016] encontra-se representado na caixa “picotada” e o período de livre circulação entre a LSA e o oceano pela caixa de linha vermelha contínua.

3.3. Padrão de movimentos dentro da lagoa

3.3.1. Análise da distribuição espacial

Kernel Density Estimation

Os mapas resultantes da análise KDE (*Kernel Density Estimation*), que foi aplicada aos machos, apresentam-se na figura 3.8. Em dezembro, a área utilizada pelos machos revela uma tendência de distribuição espacial na área coberta pela rede de receção, que abrange todos os recetores. A área mais utilizada situou-se na zona dos recetores LSA-5 e LSA-6, enquanto nos restantes recetores os indivíduos foram detetados de forma semelhante, com menor frequência a meio da linha de recetores. Na primeira quinzena de janeiro os limites da área utilizada mantêm-se semelhantes, embora a intensidade de utilização dos recetores tenha sido diferente. Neste período, os recetores mais utilizados foram os LSA-2 e LSA-1, seguindo-se os restantes com intensidade de utilização semelhante. A área mais utilizada localiza-se junto à zona da Aberta, diferindo significativamente quanto ao período de análise anterior. Na segunda quinzena de janeiro, a área mais utilizada localiza-se inteiramente no interior da zona da Aberta, junto ao recetor LSA-1. A área utilizada apresenta-se segmentada e é a menos extensa do período de estudo total. Na primeira quinzena de fevereiro a área mais utilizada mantêm-se na zona do recetor LSA-1, junto à Aberta. Comparativamente à quinzena anterior, a área utilizada é mais extensa, indicando uma maior dispersão dos indivíduos. A partir da segunda quinzena de fevereiro a área utilizada apresenta-se segmentada, mas à semelhança da quinzena anterior engloba todos os recetores. A zona da Aberta mantêm-se a área mais utilizada, seguida pela zona do recetor LSA-6, no extremo oposto da rede de monitorização. Durante o período em que a Lagoa esteve aberta ao mar, os indivíduos afastaram-se da zona da Aberta, passando a área mais utilizada a ser na zona do recetor LSA-5, apesar de a zona da Aberta se manter dentro da área utilizada.

Na área coberta pelos recetores, desde janeiro até ao final de fevereiro, a zona da Aberta é a área mais utilizada. A partir da segunda quinzena de fevereiro, é visível o aumento da dispersão dos indivíduos, particularmente pela crescente intensidade de utilização das zonas mais afastadas da Aberta entre os recetores LSA-4, LSA-5 e LSA-6.

Os resultados da mesma análise KDE, aplicada às fêmeas, apresentam-se na figura 3.9. Como se pode observar, na segunda quinzena de janeiro, a área utilizada pelas fêmeas engloba todos os recetores, revelando a tendência de distribuição na área coberta pela rede de receção. A área mais utilizada situou-se na margem oposta à zona da Aberta, no recetor LSA-5, seguindo-se a zona dos recetores LSA-2 e LSA-3 como a mais utilizada. Durante este período, a intensidade de utilização junto ao recetor LSA-1, incluído na zona da Aberta, é menor, quando comparada à intensidade verificada na zona dos restantes recetores. Na primeira quinzena de fevereiro os resultados diferem significativamente de janeiro. Os limites da área utilizada revelam fragmentação, destacando-se estas áreas como as mais conspícuas do período total de análise. A zona mais utilizada corresponde apenas à zona da Aberta, seguindo-se a zona do recetor LSA-6. Na segunda quinzena do mês a dispersão aumentou e os limites de área utilizada apresentam duas áreas distintas, definidas respetivamente pela zona dos recetores LSA-1 e LSA-2 e pela zona do recetor LSA-3 até à zona do LSA-6. A zona mais utilizada situou-se na zona do recetor LSA-5, enquanto nos restantes recetores os indivíduos foram detetados de forma semelhante, com menor frequência a meio da linha de recetores. Durante o período em que a lagoa esteve aberta ao mar, a zona mais utilizada mantêm-se na zona do recetor LSA-5. A área utilizada englobou todos os recetores e a zona do recetor LSA-1, na Aberta, foi a menos utilizada do conjunto de recetores.

Em suma, a partir da segunda quinzena de janeiro é aparente a tendência de distribuição na área coberta pela rede de receção. A maior intensidade de utilização na zona da Aberta ocorre na primeira quinzena

de fevereiro, sendo a zona mais utilizada durante este período. A partir da segunda quinzena de fevereiro parece haver maior dispersão ao longo da área monitorizada.

Quanto à análise conjunta de machos e fêmeas (Fig. 3.10), a zona mais utilizada localiza-se na zona da Aberta, desde janeiro até ao final de fevereiro. A partir de meados de fevereiro a dispersão aumenta, e a zona do recetor LSA-5 é também uma área mais utilizada. Durante o período em que a lagoa esteve aberta ao mar a área mais utilizada situou-se na zona dos recetores LSA-5 e LSA-6.

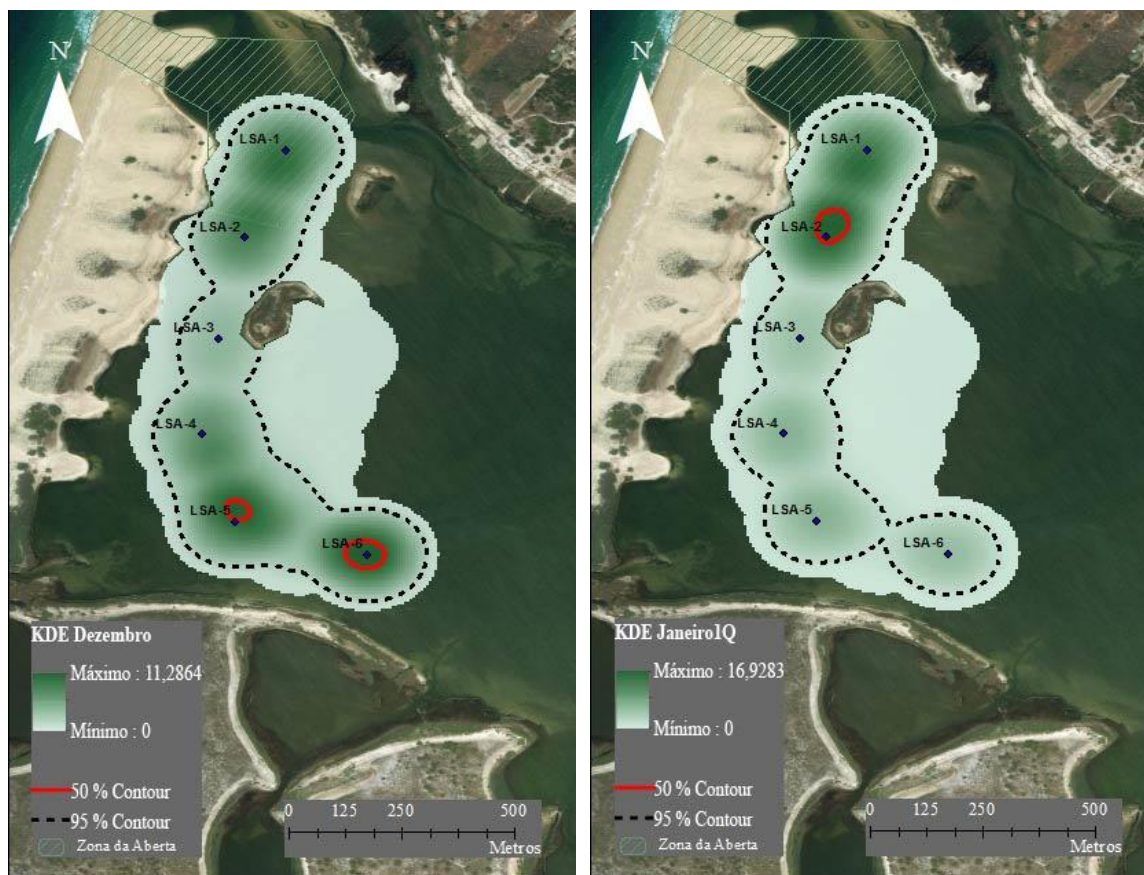
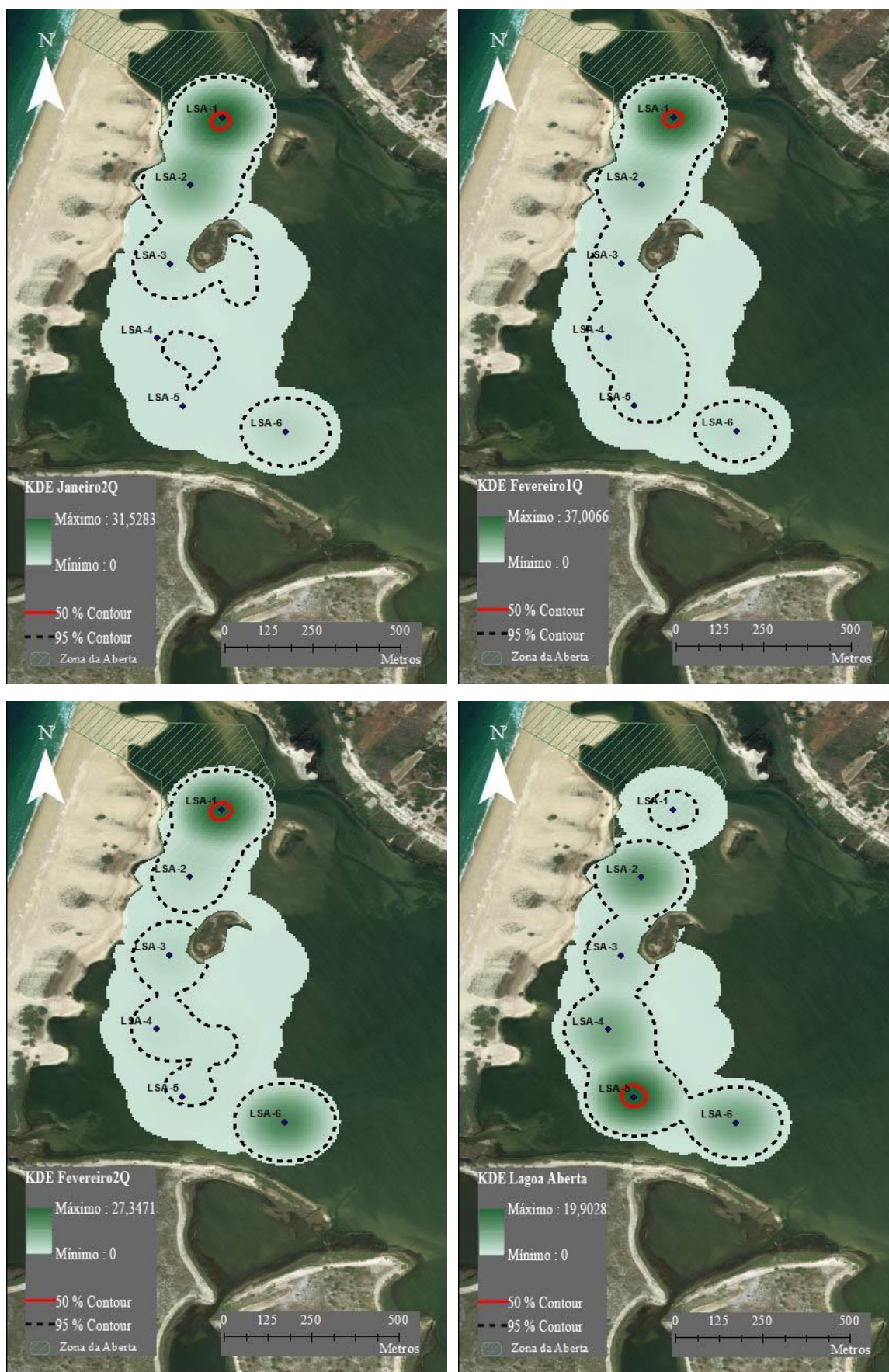


Figura 3.8 – Mapas representativos da Kernel Density Estimation, com *percent volume contours* de 95 % (tracejado preto) e 50 % (linha vermelha), para os machos (verde). Áreas representadas com a cor mais escura correspondem a áreas mais utilizadas. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre Dezembro [10-12-2016, 31-12-2016], Janeiro1Q [01-01-2016, 15-01-2017], Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016] na rede de monitorização (azul). (continua).

Figura 3.8. *Continuação.*



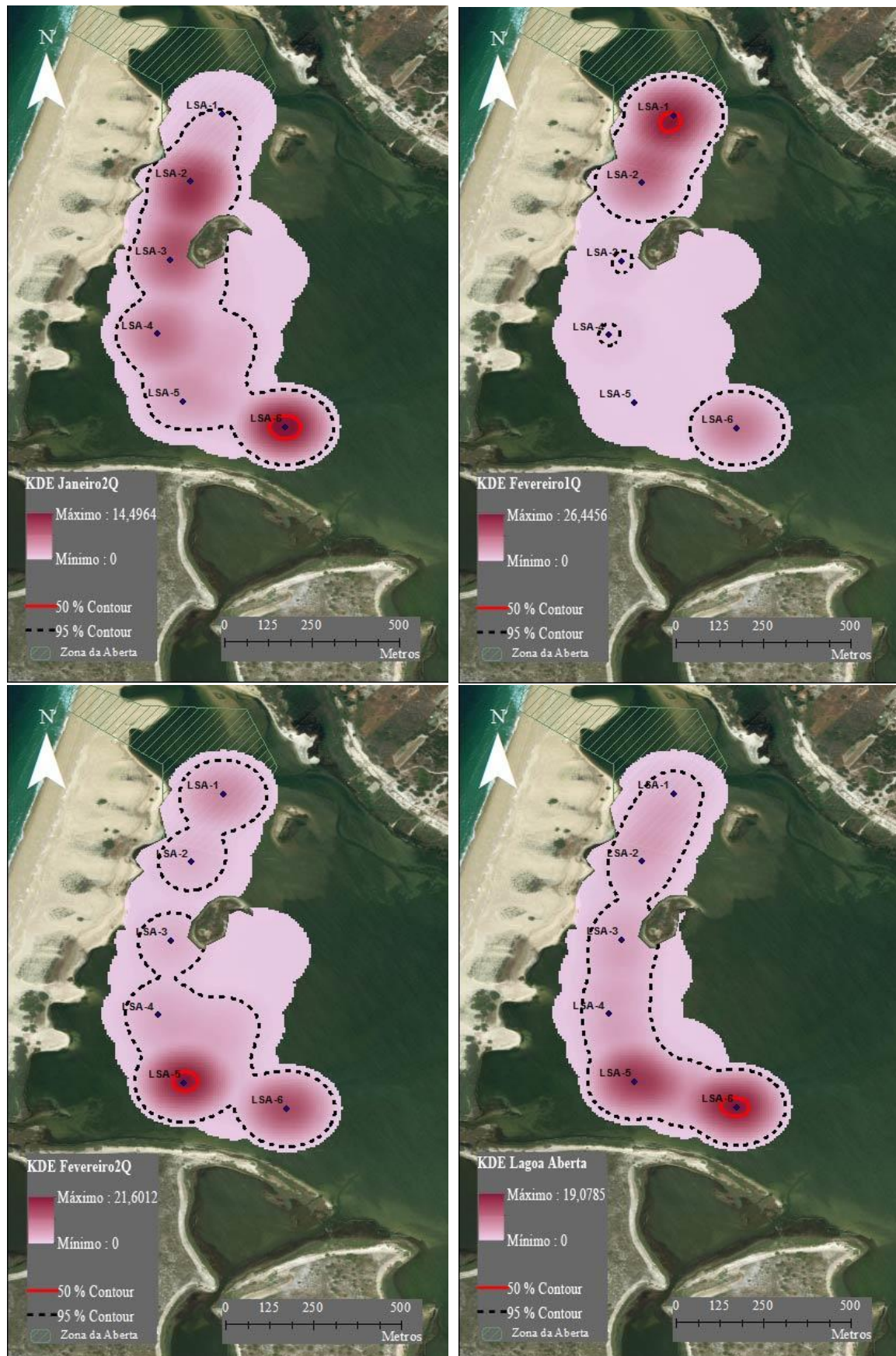


Figura 3.9 – Mapas representativos da *Kernel Density Estimation*, com percent volume contours de 95 % (tracejado preto) e 50 % (linha vermelha), para as fêmeas (rosa). Áreas representadas com a cor mais escura correspondem a áreas mais utilizadas. Os períodos de análise decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016] na rede de monitorização (azul).

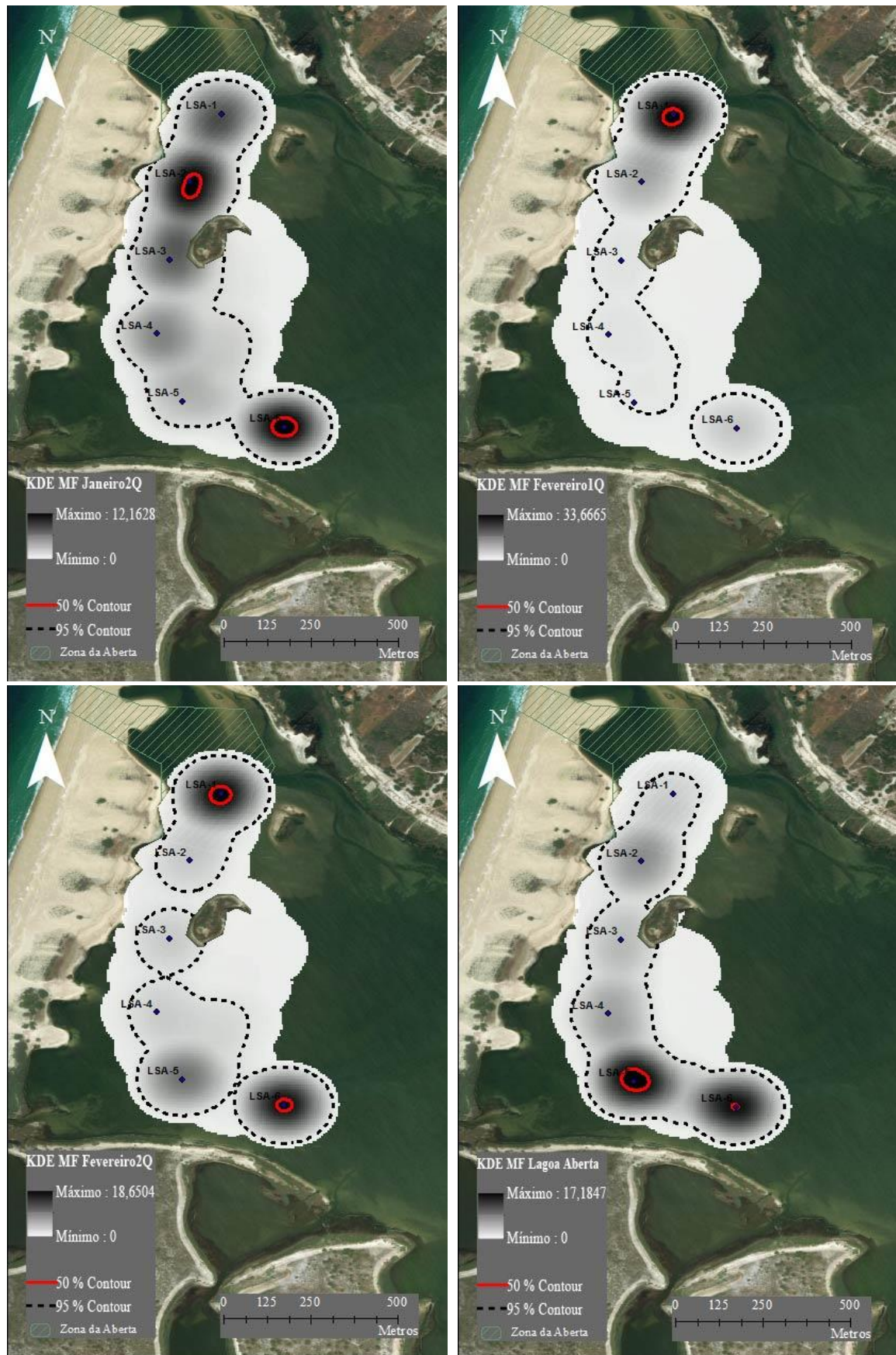


Figura 3.10 – Mapas representativos da KDE, com *percent volume contours* de 95 % (tracejado preto) e 50 % (linha vermelha), para machos + fêmeas (MF) (preto). Áreas representadas com a cor mais escura correspondem a áreas mais utilizadas. Os períodos de análise decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016] na rede de monitorização (azul).

O estudo do padrão de movimentos no interior da área coberta pela rede de receptores acústicos, realizado com a técnica de análise de redes (AR), permitiu determinar os valores das métricas analisadas (Tab. 2.2) ao longo do tempo e para cada sexo (Tab. 3.1). Adicionalmente, apresentam-se os mapas com os padrões de movimentos que resultaram da AR (Fig. 3.11, 3.12, 3.13).

O padrão de movimentos evidenciado durante o mês de dezembro (Fig. 3.11) permite visualizar que após chegarem à Aberta, os machos movimentam-se entre os recetores LSA-1 ↔ LSA-2. Fora da zona da Aberta verifica-se que o sentido de movimentação predominante vai em direção à zona da Aberta, LSA-6 → LSA-5 → LSA-4. Na 1ª quinzena de janeiro, o movimento predominante ocorreu ao longo da linha de deteção, com maior predomínio no sentido LSA-6 → LSA-1. Em dezembro e na 1ª quinzena de janeiro, as áreas com maior número de ligações de entrada e saída correspondem à zona entre os recetores LSA-2/3/4/5 (Fig. 3.11). Neste período os machos que chegam à zona da Aberta acabaram por sair com menos frequência desta área quando comparado às restantes zonas de cada recetor (< OutDC). Contrariamente, a zona entre os recetores LSA-3 é a que apresenta maior número de entradas (> InDC).

A análise da segunda quinzena de janeiro, que inclui as primeiras fêmeas marcadas, revela que este é o período em que a população apresenta maior diversidade e quantidade de movimentos realizados, verificados nos valores médios das métricas ao longo do período de estudo (Tab. 3.1) (Fig. 3.11, 3.12, 3.13). Os machos (Fig. 3.11) fizeram percursos mais curtos e direcionados junto ao cordão dunar, entre os recetores LSA-3/2/1, particularmente no sentido LSA-2 → LSA-1. As fêmeas (Fig. 3.12) apresentaram um número maior de ligações entre recetores alternados, *e.g.* recetores LSA-3/5/5/6, com diversas direções de movimento e de maior extensão. Os movimentos predominantes ocorrem entre os recetores LSA-3/2/1, particularmente no sentido LSA-3 → LSA-2 → LSA-1. A análise de machos + fêmeas revela que os indivíduos que chegam à zona da Aberta têm menor número de saídas, quando comparado às restantes zonas de cada recetor (< OutDC) (Fig. 3.13). Quase todos os recetores (LSA-1/2/3/5/6) apresentaram um número semelhante de entradas (> InDC). Os recetores LSA-2/3/4/5/6 apresentam um número semelhante de saídas (OutDC). A medida de *betweenness* indica que a zona da aberta não é um ponto habitual de passagem (< *betweenness*) entre recetores, mas sim de chegada (> InDC). A zona do recetor LSA-3, que se situa aproximadamente no ponto médio entre as margens e a linha de recetores foi o ponto de passagem mais habitual (> *betweenness*). A comparação do padrão de movimentação dos machos revela que no mês de janeiro a distribuição é mais restrita que em dezembro, e os movimentos predominam na zona da Aberta (fig. 3.11).

Na primeira quinzena de fevereiro as fêmeas demonstram reduzida diversidade de movimentos, quando comparado ao restante período de estudo, predominando movimentos na Aberta (Fig. 3.12). Os machos (Fig. 3.11) manifestaram semelhante comportamento na zona da Aberta, mas a sua movimentação foi mais abrangente. A análise conjunta de machos e fêmeas (Fig. 3.13) revela que ao chegarem à zona do recetor LSA-4 manifestaram menor número de saídas, quando comparado às restantes zonas de cada recetor (< OutDC). Observou-se o maior número de chegadas nos recetores LSA-3 e LSA-6 (> InDC). A medida de *betweenness* indica que a zona da Aberta e do recetor LSA-4 não são pontos habituais de passagem (< *betweenness*), contrariamente aos recetores LSA-3 e LSA-6 (> *betweenness*).

Na segunda quinzena de fevereiro a dispersão é maior, comparável à segunda quinzena de janeiro (Fig. 3.11, 3.12, 3.13). A zona da Aberta não é um ponto habitual de passagem (< *betweenness*) e a zona do recetor LSA-3 é a que apresenta maior número de chegadas e saídas (> InDC e OutDC respetivamente), sendo o ponto de passagem mais habitual para outros recetores (> *betweenness*). Tanto os machos como as fêmeas movimentam-se preferencialmente na zona da Aberta, e fora da zona Aberta, predominam os

movimentos nos recetores LSA-3/4/5/6, preferencialmente no sentido LSA-3 → LSA-4 → LSA-5 → LSA-6 → LSA-3.

Durante a semana em que se estabeleceu a livre circulação entre a lagoa e o mar, a maioria dos movimentos ocorreu ao longo da linha de deteção, predominando no sentido LSA-6 → zona da Aberta (Fig 3.11, 3.12, 3.13). A zona do recetor LSA-2 foi a zona com maior número de saídas para outros recetores (> OutDC) e simultaneamente o local de passagem mais habitual dos percursos observados (> *betweenness*). A zona da aberta registou o menor número de saídas para outros recetores (< OutDC) e foi um local pouco habitual de passagem entre nós diferentes (< *betweenness*).

Ao longo de todo o período de estudo verificou-se pela métrica de InDC que é pouco frequente um indivíduo sair da zona da Aberta após lá chegar (o valor da métrica foi normalmente menor que nos outros recetores) (Tab. 3.1). Os movimentos mais restritos e na zona da Aberta verificaram-se na primeira quinzena de janeiro, no caso dos machos, e na primeira quinzena de fevereiro, no caso das fêmeas, após períodos de maior movimentação em dezembro e na segunda quinzena de janeiro respetivamente. Em fevereiro, a Aberta continua a ser um local preferencial, mas os movimentos são mais abrangentes (Fig 3.11, 3.12, 3.13). A população migrou na direção da zona da Aberta desde dezembro até à abertura da lagoa ao mar. Enquanto a lagoa esteve aberta a maioria dos movimentos realizou-se entre os recetores, no sentido da Aberta (LSA-6 → LSA-5 → LSA-4 → LSA-3 → LSA-2 → LSA-1) e foi o período com maior diversidade de movimentos.

Tabela 3.1 – Valores das medidas de centralidade (*OutDegree* e *InDegree*) e *Betweenness*. obtidas na Análise de Redes para os movimentos de machos, fêmeas e população (machos+fêmeas) ao longo dos 6 períodos de análise

Período	Amostra	Métrica	Recetor						Média
			LSA -1	LSA-2	LSA-3	LSA-4	LSA-5	LSA-6	
Dezembro	Machos	<i>OutDegree</i>	2	4	4	4	3	3	3,333333
		<i>InDegree</i>	2	3	5	4	4	2	3,333333
		<i>Betweenness</i>	0	2	5	2,5	1,5	0	1,833333
Janeiro 1Q	Machos	<i>OutDegree</i>	2	4	4	4	3	2	3,166667
		<i>InDegree</i>	2	3	4	4	4	2	3,166667
		<i>Betweenness</i>	0	2,33	4,167	4,167	2,33	0	2,165667
Janeiro 2Q	Machos	<i>OutDegree</i>	2	4	5	4	3	4	3,666667
		<i>InDegree</i>	2	4	5	4	3	4	3,666667
		<i>Betweenness</i>	0	2	4,667	0,667	0	0,667	1,3335
Janeiro 2Q	Fêmeas	<i>OutDegree</i>	4	5	5	5	5	5	4,833333
		<i>InDegree</i>	5	5	5	4	5	5	4,833333
		<i>Betweenness</i>	0	0,25	0,25	0	0,25	0,25	0,166667
Janeiro 2Q	População	<i>OutDegree</i>	4	5	5	5	5	5	4,833333
		<i>InDegree</i>	5	5	5	4	5	5	4,833333
		<i>Betweenness</i>	0	0,25	0,25	0	0,25	0,25	0,166667

Tabela 3.1 – Continuação.

Período	Amostra	Métrica	Recetor						Média
			LSA -1	LSA-2	LSA-3	LSA-4	LSA-5	LSA-6	
Fevereiro 1Q	Machos	<i>OutDegree</i>	3	4	5	2	3	5	3,666667
		<i>InDegree</i>	3	3	5	3	3	5	3,666667
		<i>Betweenneess</i>	0	0,33	3,66	0	0,33	3,66	1,33
Fevereiro 1Q	Fêmeas	<i>OutDegree</i>	2	2	4	1	1	2	2
		<i>InDegree</i>	2	2	4	1	1	2	1,5
		<i>Betweenneess</i>	0	0	16	0	0	8	4
Fevereiro 1Q	População	<i>OutDegree</i>	3	4	5	2	3	5	3,666667
		<i>InDegree</i>	3	3	5	3	3	5	3,666667
		<i>Betweenneess</i>	0	0,33	3,66	0	0,33	3,66	1,33
Fevereiro 2Q	Machos	<i>OutDegree</i>	2	4	5	4	3	4	3,666667
		<i>InDegree</i>	2	4	5	4	3	4	3,666667
		<i>Betweenneess</i>	0	2	4,66	0,66	0	0,66	1,33
Fevereiro 2Q	Fêmeas	<i>OutDegree</i>	1	3	4	3	3	5	3,166667
		<i>InDegree</i>	2	3	4	3	3	4	3,166667
		<i>Betweenneess</i>	0	4,5	3	0	0	5	2,083333
Fevereiro 2Q	População	<i>OutDegree</i>	2	4	5	4	3	4	3,666667
		<i>InDegree</i>	2	4	5	4	3	4	3,666667
		<i>Betweenness</i>	0	2	4,66	0,66	0	0,66	1,33
Março - Aberta	Machos	<i>OutDegree</i>	1	5	4	3	3	3	3,166667
		<i>InDegree</i>	1	3	4	3	4	4	3,166667
		<i>Betweenneess</i>	0	8,33	2,33	0	0,33	2	2,165
Março - Aberta	Fêmeas	<i>OutDegree</i>	1	4	3	3	3	2	2,666667
		<i>InDegree</i>	1	3	4	3	4	1	2,666667
		<i>Betweenneess</i>	0	8	3,5	1	4,5	0	2,833333
Março - Aberta	População	<i>OutDegree</i>	1	4	3	3	3	3	2,833333
		<i>InDegree</i>	1	4	4	3	4	1	2,833333
		<i>Betweenneess</i>	0	8,33	1	0,66	4,33	0,66	2,496667



Figura 3.11 – Representação gráfica da análise de redes (AR) (UCINET) que ilustra os movimentos dos machos (vetores azuis) observados pela rede de monitorização fixa. Os quadrados correspondem à localização de cada estação de monitorização colocada, sendo que a sua dimensão reflete a medida de centralidade da mesma, calculada com base no grau de centralidade dos nós. A espessura dos vetores reflete a frequência desse movimento de interligação de áreas. O movimento segue o sentido de menor para maior espessura dos vetores. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre dezembro [10-12-2016, 31-12-2016], Janeiro1Q [01-01-2016, 15-01-2017], Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016]. (continua).

Figura 3.11 – *Continuação.*

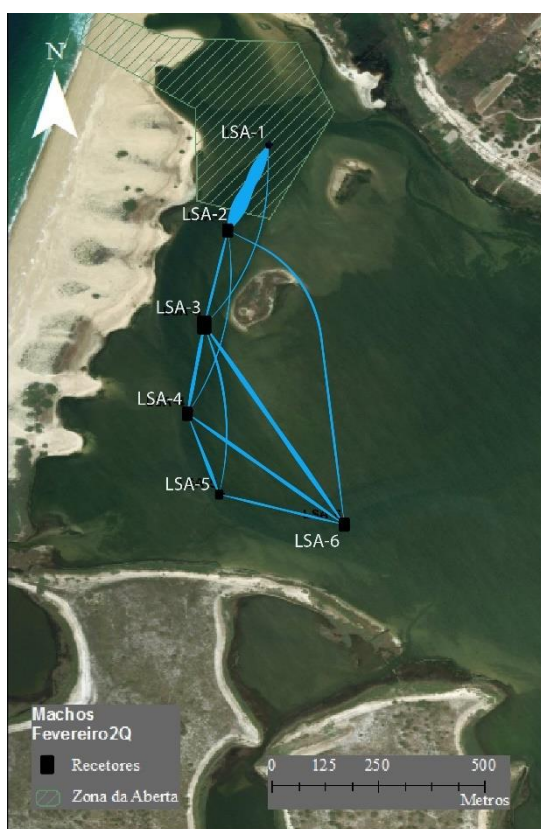
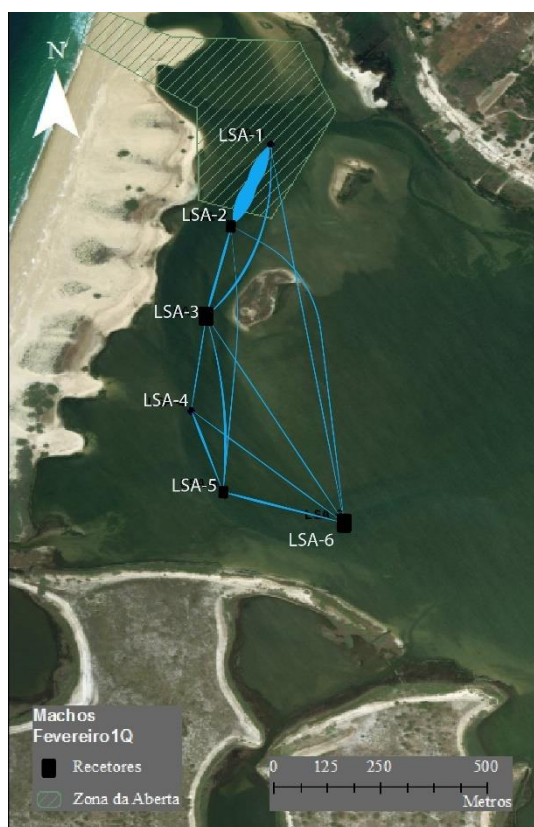
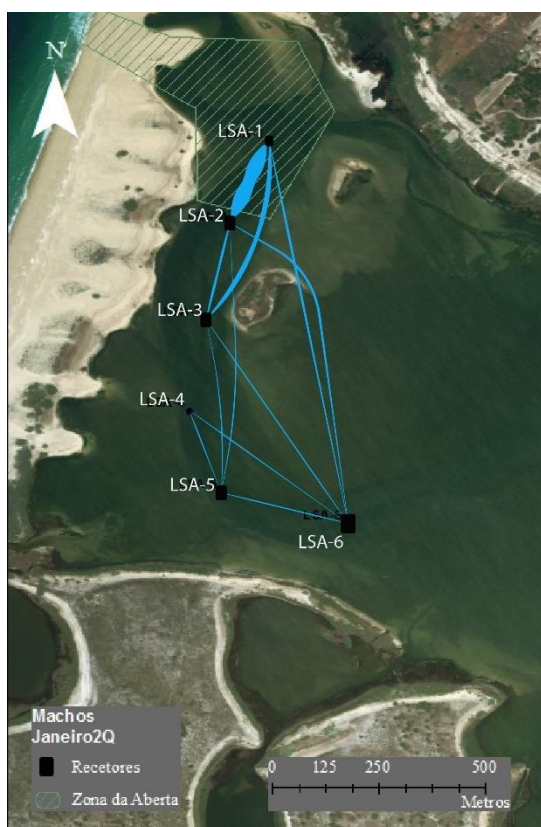




Figura 3.12 – Representação gráfica da análise de redes (AR) (UCINET) que ilustra os movimentos das fêmeas (vetores a vermelho) observados pela rede de monitorização fixa. Os quadrados correspondem à localização de cada estação de monitorização colocada, sendo que a sua dimensão reflete a medida de centralidade da mesma, calculada com base no grau de centralidade dos nós. A espessura dos vetores reflete a frequência desse movimento de interligação de áreas. O movimento segue o sentido de menor para maior espessura dos vetores. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016].

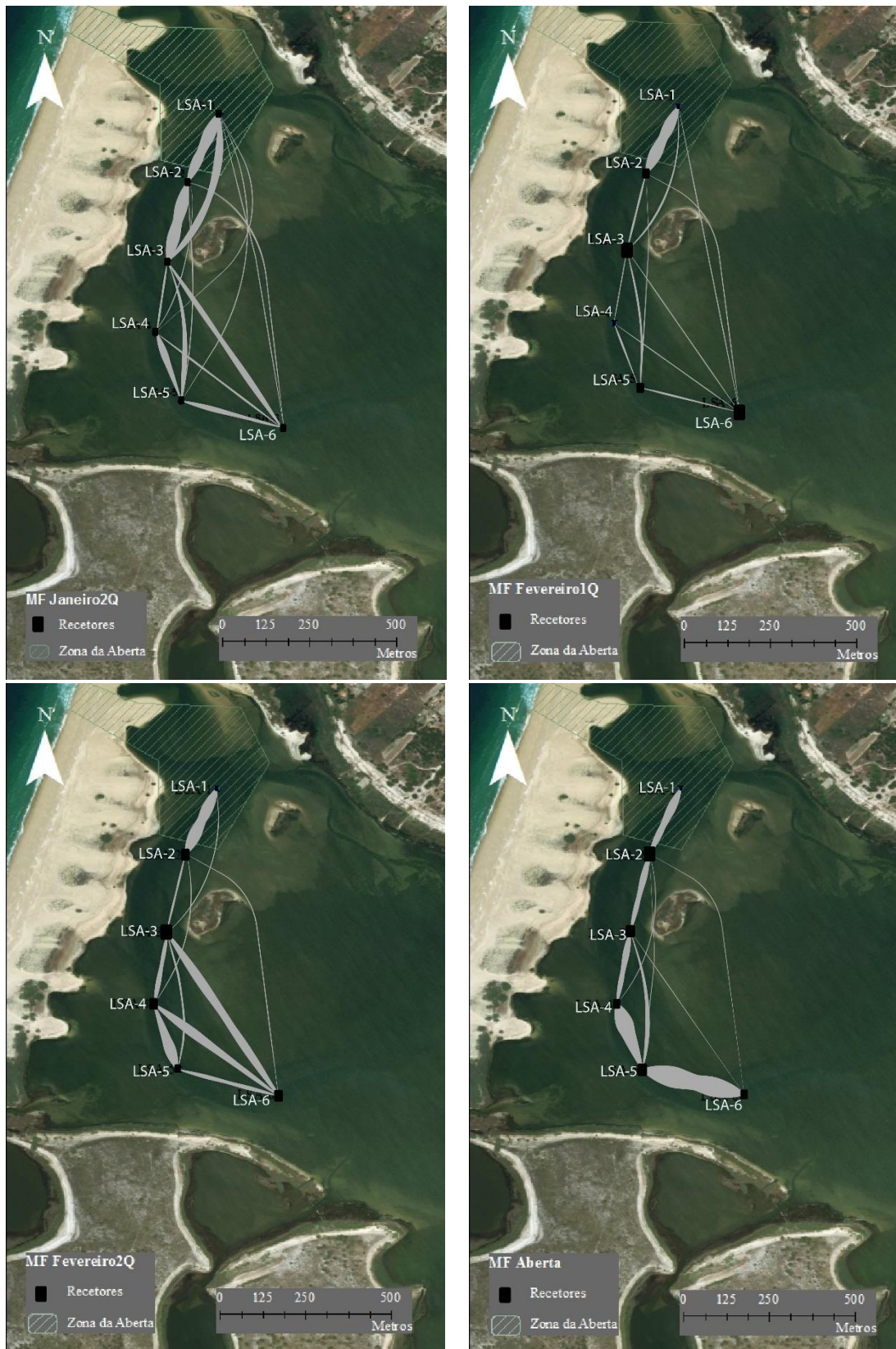


Figura 3.13 – Representação gráfica da análise de redes (AR) (UCINET) que ilustra os movimentos dos machos + fêmeas (cinzento) observados pela rede de monitorização fixa. Os quadrados correspondem à localização de cada estação de monitorização colocada, sendo que a sua dimensão reflete a medida de centralidade da mesma, calculada com base no grau de centralidade dos nós. A espessura dos vetores reflete a frequência desse movimento de interligação de áreas. O movimento segue o sentido de menor para maior espessura dos vetores. Os períodos de análise encontram-se indicados na legenda de cada imagem e decorrem entre Janeiro2Q [16-01-2016, 31-01-2016], Fevereiro1Q [01-02-2016, 15-02-2016], Fevereiro2Q [16-02-2016, 29-02-2016], Aberta [08-03-2016, 17-03-2016].

3.3.2. Influência dos parâmetros ambientais

A salinidade variou entre 4,59 e 15,50 regra geral diminuindo desde o início do período de estudo até à abertura da lagoa ao mar, e a partir do momento em que a lagoa ficou novamente fechada. Foi possível observar fenómenos de galgamento pela subida da salinidade. A temperatura variou entre 11,41 e 27,55 °C, seguindo o padrão diário circadiano (Fig. 3.14).

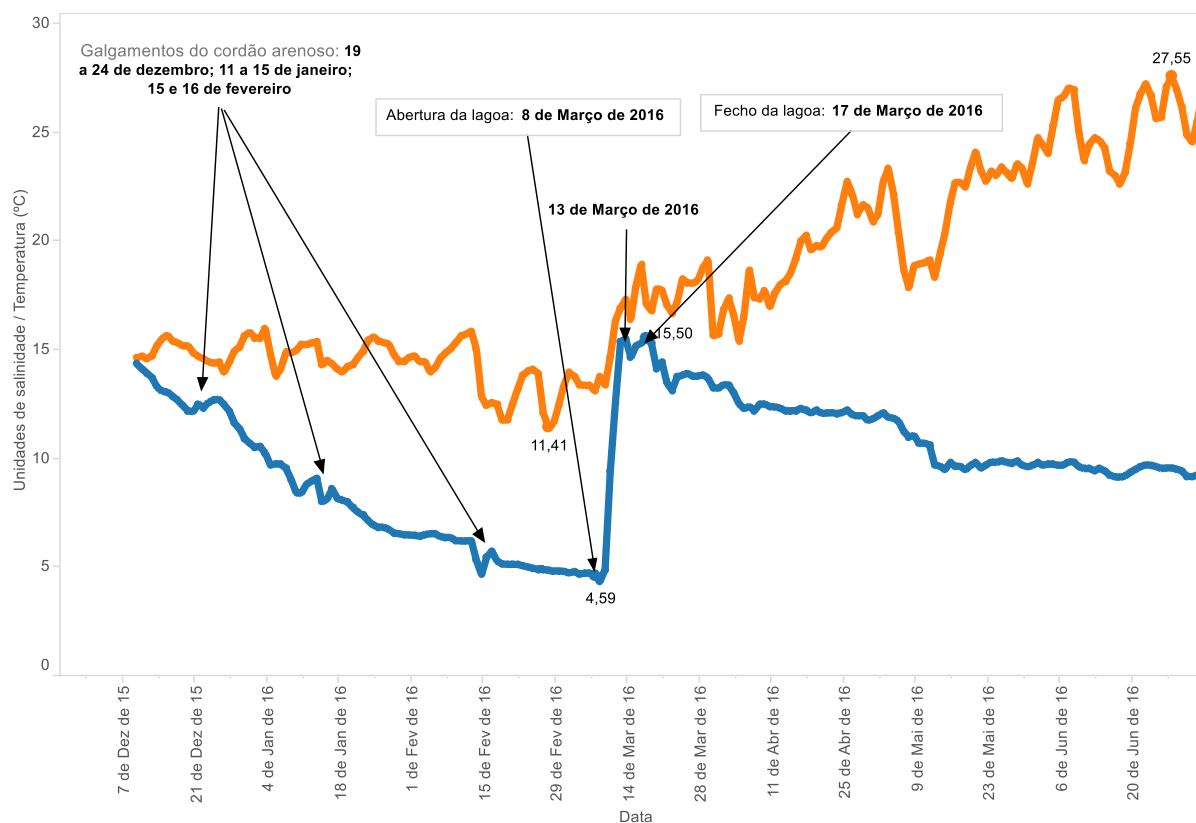


Figura 3.14 – Variação da temperatura (em °C, a laranja) e da salinidade (unidades de salinidade, a azul), medidas pela sonda colocada na zona da Aberta, durante o período de estudo [10-12-2015, 26-07-2016].

O modelo desenvolvido que explica a relação entre atividade migratória das enguias prateadas marcadas e as variáveis ambientais incorporou 6 dos 8 preditores utilizados e explica 46,39 % da variabilidade da atividade migratória (Tab. 3.2). Uma análise mais fina permitiu identificar de que maneira estas variáveis afetam a atividade migratória. Observou-se que o período da noite, o aumento da salinidade, o vento com uma direção predominante de Oeste ou Sul, noites de lua nova ou quarto minguante, e aumento da precipitação afetam positivamente a atividade migratória. Inversamente, o modelo indica que a atividade migratória é reduzida em condições de descida de temperatura, de vento com rumo predominante de Norte e em noites de quarto crescente (Tab. 3.3).

Tabela 3.2 – Resumo com os valores do critério de AIC, variáveis explicativas e percentagem de explicação total dos modelos analisados. O modelo selecionado encontra-se destacado.

Modelo	AIC	Variáveis explicativas	Explicação total (%)
Nulo	8588,48		
Modelo 1	6992,10	Período do dia	

Tabela 3.2 – Continuação.

Modelo	AIC	Variáveis explicativas	Explicação total (%)
Modelo 2	6394,27	Período do dia + Salinidade	
Modelo 3	5919,87	Período do dia + Salinidade + Temperatura	
Modelo 4	5358,11	Período do dia + Salinidade + Temperatura + Direção Vento	
Modelo 5	4986,76	Período do dia + Salinidade + Temperatura + Direção Vento + Lua	
Modelo 6	4933,42	Período do dia + Salinidade + Temperatura + Direção Vento + Lua + Precipitação	46,39 %

Tabela 3.3 – Variáveis explicativas do modelo selecionado e respectivos valores de coeficiente de regressão, deviance residual, p-value do teste de Chi2 (χ^2) e percentagem de explicação de cada preditor.

Modelo 6	Coeficiente de Regressão	Deviance Residual	p-value (χ^2)	% Explicada
Período do dia	-	1598,38	< 0,001	20,18
Noite	0,994110			
Salinidade	0,116832	599,83	< 0,001	7,57
Temperatura da água	- 0,455060	476,40	< 0,001	6,01
Direção do Vento	-	567,77	< 0,001	7,17
Direção do Vento - N	- 0,599188			
Direção do Vento - O	0,532857			
Direção do Vento - S	0,510788			
Fase da lua	-	83,44	< 0,001	4,76
Lua Nova	0,196237			
Quarto Crescente	- 0,280613			
Quarto Minguante	0,434503			
Precipitação	0,329880	4245,5	< 0,001	0,70
% Explicação total				46,39 %

3.4. Fuga de reprodutores

A recuperação total da informação armazenada na rede de monitorização acústica instalada na ZCA permitia a deteção de indivíduos que saíssem pela zona da Aberta ou pelo cordão dunar em locais específicos frequentemente galgados por ondas altas durante períodos de mar mais revolto, mesmo não sendo detetados no interior da lagoa. Contudo, não foram recuperados todos os recetores (fig. 3.15). Dos 10 recetores que constituíam a rede de monitorização da zona costeira adjacente à LSA, quatro permaneceram na mesma posição e foi possível recupera-los, sendo provável que os restantes 6 recetores não encontrados tenham sido arrastados dos seus locais provavelmente por embarcações que fazem a apanha de bivalves com recurso à ganchorra de forma ilegal na zona de proteção da LSA.

Os indivíduos (Aa27, Aa65, Aa66 e Aa71) atravessaram a zona entre os recetores da lagoa e da ZCA em cerca de 1h, nadando no mínimo 1500 m, entre a estação de monitorização LSA-1 e a ZCA-4.

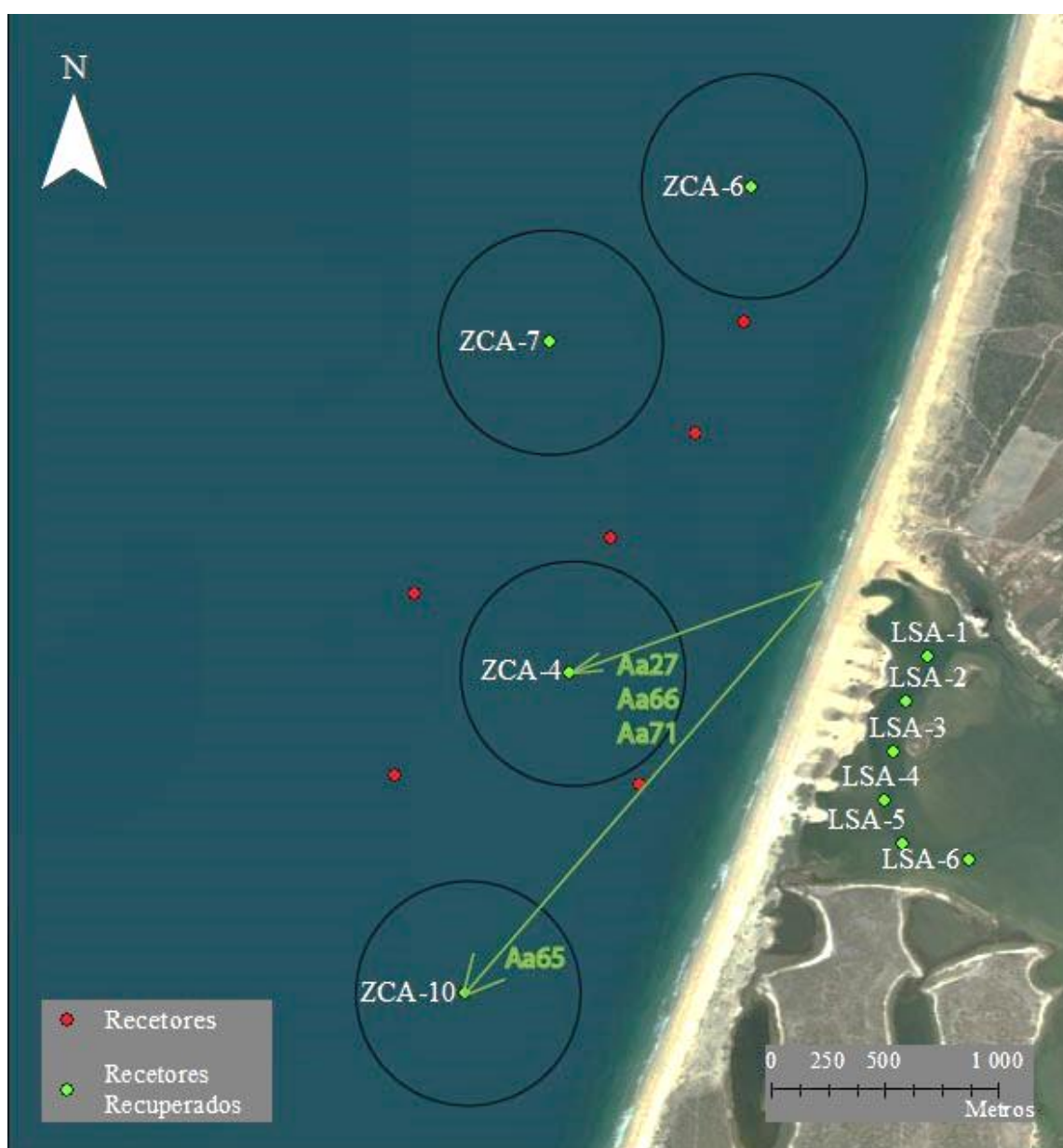


Figura 3.15 – Mapa com a localização dos recetores colocados não recuperados (a vermelho) e recuperados (a verde). A direção de saída dos indivíduos detetados no mar (Aa27, Aa66, Aa71 e Aa65) encontra-se representada por vetores verdes. Os círculos a preto representam o raio de cobertura dos recetores.

A tabela 3.4 apresenta um conjunto de informações importantes no cálculo da taxa de fuga e informação adicional relativa a indivíduos que foram detetados entre a abertura da lagoa ao mar e 27 de junho. Globalmente, 24,32 % dos indivíduos da amostra foram detetados pelo menos uma vez desde a abertura da lagoa ao mar até ao final de junho. Assumindo que indivíduos já recapturados pela pesca profissional que se realiza na LSA não podem ser considerados migradores que escaparam, detetou-se 20,27 %. Deste total, 14,86 % dos indivíduos foram marcados após o período de pesca.

A marcação e libertação de 63 migradores durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, permitiu calcular a taxa de fuga da amostra de indivíduos sujeita à pesca (momento A). Após o encerramento da pesca, e já com a livre circulação entre o mar e a lagoa, libertou-se mais 11 migradores (momento B). Para ambos os momentos a taxa de fuga observada foi calculada tendo em consideração o número de indivíduos marcados detetados nos recetores colocados na zona costeira adjacente (E_F) e o número de indivíduos que se encontravam marcados dentro da Lagoa de Santo André na altura da conexão da lagoa com o mar (E_M), como descrito na equação 3.1.

Além da taxa de fuga observado, apresenta-se a estimativa da taxa de fuga para cada momento considerando que E_F corresponde ao número de indivíduos que deixaram de ser detetados na lagoa, durante o período de livre circulação entre a lagoa e o mar, no recetor colocado na zona da Aberta, durante a noite e durante a baixa mar teve por base várias informações, nomeadamente se um indivíduo já havia sido recapturado, a data e local da última deteção, bem como as condições ambientais em que o desaparecimento ocorreu.

$$(Eq. 3.1) \% Fuga = \frac{E_F}{E_M} \times 100$$

Do conjunto de indivíduos marcados no momento A, os indivíduos (Aa33, Aa54) já tinham sido recapturados, e por isso, não se pode considerar que escaparam. O indivíduo Aa27 foi detetado no mar, contudo também já havia sido recapturado. Neste conjunto não se detetou nenhum indivíduo no mar (que não tivesse já sido recapturado), pelo que a fuga observada do conjunto de indivíduos marcados durante o período de pesca foi 0%. É importante referir que a perda de 6 recetores na zona costeira adjacente (Fig. 3.15) pode ter resultado numa subestimativa da taxa de fuga observada, porque os indivíduos marcados podem ter saído da lagoa sem terem sido detetados nos recetores que foram recuperados. Dos 63 indivíduos que compõem a amostra de indivíduos marcados no momento A, houve 1 indivíduo (Aa63) que deixou de ser detetado nos recetores fixos e não foi detetado no *tracking* manual. Este indivíduo não foi recapturado. Adicionalmente, as informações (Tab. 3.4) indicam que este indivíduo deixou de ser detetado durante o período de livre circulação entre a lagoa e o mar, no recetor colocado na zona da Aberta (LSA-1), durante a noite e durante a baixa mar. Considerando que este indivíduo escapou, a taxa de fuga potencial é de 1,58 %.

A libertação de indivíduos marcados no momento B revelou a presença de 3 indivíduos na zona costeira adjacente (Aa65, Aa66 e Aa71), fixando-se a taxa de fuga observada em 27 %. Como já foi a cima referido, a taxa de fuga observada pode estar subestimada. Do conjunto de indivíduos marcados no momento B, houve 6 indivíduos que deixaram de ser detetados (Aa67, Aa68, Aa69, Aa70, Aa73 e Aa74), quer nos recetores fixos quer no *tracking* manual. Adicionalmente, as informações (Tab. 3.4) indicam que estes indivíduos (exceto Aa74) deixaram de ser detetados no recetor LSA-1, durante a noite e a baixa-mar, com a lagoa aberta ao mar. Considerando que este grupo de 9 indivíduos escapou da Lagoa de Santo André, a taxa de fuga potencial é de 81,81 %.

Tratando os indivíduos marcados em ambos os momentos como se tivessem sido marcados todos no mesmo período, a taxa de fuga de reprodutores global observada na ZCA foi 4 % e a taxa de fuga global potencial foi de 13,51 %

O trabalho de telemetria acústica envolveu 2 sessões noturnas de *tracking* manual com o objetivo de encontrar indivíduos que permanecessem na lagoa após o período de livre circulação. As sessões de *tracking* manual foram realizadas após o fecho da abertura da LSA ao mar. Nestas sessões identificou-se 4 indivíduos (Aa43, Aa51, Aa64, Aa72). Um dos indivíduos foi detetado no mesmo local (Aa51) nas duas sessões de *tracking* realizadas e considerou-se que estava morto. A figura 3.16 apresenta a localização dos indivíduos no mapa.

Tabela 3.4 – Resumo com os dados dos indivíduos que foram detetados entre a abertura da lagoa ao mar e 27 de junho

Indivíduo	Sexo	Período de Marcação	Última deteção na LSA	Última deteção no Oceano	Recetor	Maré*	Recapturado?	Considerou-se que escapou?
Aa6	M	Pesca	24/06/2016 – 04h42m	–	LSA-5	–	NÃO	NÃO
Aa27	F	Pesca	2016/03/09 – 21h56m	2016/03/09 – 22h30m	ZCA-4	Baixa-mar	SIM	NÃO
Aa33	F	Pesca	2016/03/09 – 20h54m	–	LSA-1	Baixa-mar	SIM	NÃO
Aa43	F	Pesca	2016/07/18 – <i>tracking</i> manual	–	LSA-6	–	NÃO	NÃO
Aa51	F	Pesca	2016/07/18 – <i>tracking</i> manual	–	LSA-3	–	NÃO	NÃO
Aa54	M	Pesca	2016/03/09 – 21h49m	–	LSA-1	Baixa-mar	SIM	NÃO
Aa63	F	Pesca	2016/03/08 – 20h53m	–	LSA-1	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa64	F	Após pesca	2016/07/18 – <i>tracking</i> manual	–	LSA-6	–	NÃO	NÃO
Aa65	F	Após pesca	2016/03/09 – 19h23m	2016/03/09 – 20h30m	LSA-3 ZCA-10	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa66	F	Após pesca	2016/03/10 – 21h08m	2016/03/10 – 21h45m	LSA-1 ZCA-4	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa67	M	Após pesca	2016/03/09 – 19h44m	–	LSA-1	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa68	M	Após pesca	2016-03-09 – 19h57m	–	LSA-1	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa69	M	Após pesca	2016-03-09 – 19h53m	–	LSA-1	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa70	M	Após pesca	2016/03/12 – 21h40m	–	LSA-1	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa71	F	Após pesca	2016/03/15 – 03h10m	2016/03/15 – 04h30m	LSA-1 ZCA-4	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa72	M	Após pesca	2016/06/07 – 02h59m	–	LSA-6	–	NÃO	NÃO
Aa73	M	Após pesca	2016/03/09 – 19h42m	–	LSA-1	Baixa-mar	NÃO	SIM
Aa74	M	Após pesca	2016/03/09 – 20h09m	–	LSA-2	Baixa-mar	NÃO	SIM

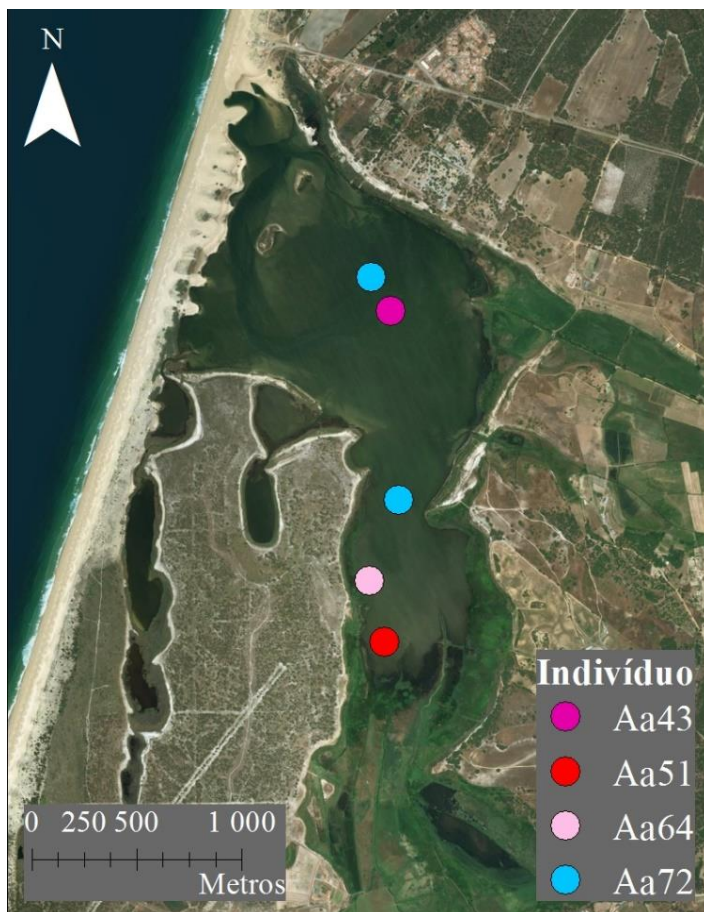


Figura 3.16 – Mapa com as localizações dos indivíduos detetados no tracking manual efetuado no final do período de estudo para estimar o número de animais que permaneceu no interior da LSA.

4. Discussão

As lagoas costeiras estão entre os habitats marinhos com maior produtividade biológica (Tett et al., 2003) e como tal são locais potencialmente importantes para a recuperação da população de enguia-europeia conforme preconizado pelo Plano de Gestão da Enguia Português em resposta ao Regulamento (CE) nº 1100/2007. É neste contexto que se enquadra o presente trabalho que teve como objetivo principal compreender a dinâmica da migração reprodutora da enguia numa lagoa costeira fechada, a Lagoa de Santo André, que se encontra isolada do mar durante a época de migração.

Paralelamente, e na sequência do trabalho desenvolvido por Lopes, (2013), o presente estudo permite dar resposta a questões finais colocadas por este autor, consideradas essenciais para perceber a ecologia das enguias prateadas no sistema em questão e, com isso, permitir melhorar a gestão deste recurso com vista a maximização da produtividade do sistema, no que à fuga de reprodutores respeita, sem, ao mesmo tempo, por em causa a atividade piscatória dirigida a esta espécie neste corpo de água. Se é verdade que outras lagoas costeiras já foram alvo de estudo para quantificar a fuga de reprodutores (Amilhat, 2008; Charrier *et al.*, 2012; Aalto *et al.*, 2016), ainda assim a gestão hidráulica da Lagoa de Santo André não tem paralelo e até à data não existe outro estudo que aborde a migração de enguias prateadas num sistema semi-fechado cuja ligação ao mar é garantida de forma artificial, durante um período de tempo que pode ser variável (de 1 semana a meses) e cuja abertura é realizada já numa fase tardia da migração reprodutora da enguia-europeia. O presente trabalho confirma a adequabilidade da telemetria acústica para estudar a migração de enguias prateadas e, em particular, estimar uma taxa de fuga de reprodutores de sistemas lagunares costeiros.

Como na generalidade das lagoas costeiras, a Lagoa de Santo André é pouca profunda e por isso a massa de água encontra-se mais sujeita ao regime de ventos, o que aliado à elevada turbidez, principalmente na sequência de episódios de precipitação (Pires, 2011), poderá condicionar a utilização da telemetria acústica passiva. Para descartar este problema foi dirigido um trabalho específico para avaliar as limitações da metodologia empregue no corpo de água em questão, aferindo a eficiência da rede de recetores de telemetria tanto espacial como temporalmente. Sem esta análise de aferição da eficiência de deteção do equipamento de telemetria, o enviesamento das limitações do equipamento na lagoa estudada poderia ser suficiente para por em causa a interpretação dos resultados obtidos alicerçados no registo da presença dos indivíduos marcados sempre que se encontram no perímetro coberto pelo conjunto de recetores utilizados (Heupel *et al.*, 2006; Payne *et al.*, 2010). A presença de ilhas, particularmente a maior junto à zona da Aberta, foi o principal fator identificado que reduziu a eficiência de deteção, criando uma zona de “sombra acústica” a montante das ilhas. A análise exploratória da eficiência de deteção ao longo de um gradiente de condições ambientais verificadas durante o período em que os transmissores sentinela ficaram colocados na lagoa revelou que de um modo geral, a eficiência de deteção variou ao longo do dia, sendo mais baixa durante o período da tarde. Igualmente, a relação entre a eficiência de deteção e o vento demonstra que esta tende a diminuir com o aumento da intensidade do vento, sendo que durante o período de estudo a intensidade do vento aumentou por norma durante o período da tarde podendo haver por isso uma associação entre a variação circadiana da eficiência de deteção e da intensidade do vento. Este conjunto de informações sobre a variabilidade da eficiência de deteção corrobora a informação bibliográfica e permitiu estabelecer limites à interpretação da área de cobertura acústica e à eficiência e adequabilidade do desenho experimental aplicado (Heupel *et al.*, 2006, Payne *et al.*, 2010; Huveneers *et al.*, 2016).

A abertura da lagoa ao mar durante o período habitual de migração da enguia-europeia garantiria que os indivíduos migrassem a tempo de chegar ao Mar dos Sargãos (Van Ginneken e van den Thillart, 2000).

Neste caso a lagoa está fechada e os reprodutores são obrigados a interromper a migração, ficando aprisionados e sujeitos à pesca durante os meses de janeiro, fevereiro e início de março, mês em que ocorreu a abertura. Neste período foram recapturados 43 dos 63 indivíduos marcados, correspondendo a 68 %. A ocorrência de um número tão significativo de recapturas sugere que os indivíduos apresentam uma atividade migratória intensa. Por outro lado, este valor indica que o esforço de pesca na lagoa é grande, caso contrário não seria de esperar um número tão significativo de recapturas com uma arte de pesca passiva. Enquanto a lagoa esteve fechada estudou-se o comportamento dos indivíduos no interior da lagoa, o que permitiu verificar que o período de maior atividade migratória decorreu entre meados de janeiro e meados de fevereiro, coincidindo com o período de pesca. Do total de 63 indivíduos, a taxa de fuga observada foi 0 %, e a taxa de fuga potencial foi 1,58 %. A associação desta informação com a monitorização das recapturas permite concluir que a pesca foi o principal impacto antropogénico, o qual será difícil de eliminar tendo em conta a intensidade da atividade migratória nos meses de pesca.

Na ausência de obstáculos, os reprodutores nadam dezenas de km por dia para sair dos sistemas continentais (Behrmann-Godel *et al.*, 2003; Aarestrup, 2008, Monteiro, 2015). No norte da Europa já se verificou que as enguias prateadas podem prolongar o seu tempo nos fiordes até 4 meses (Aarestrup *et al.*, 2008). A última marcação foi feita quando acabou a pesca e se abriu a lagoa, precisamente 1 mês após o pico de migração. Nestas condições de livre circulação (momento B) observou-se a fuga de 27% dos indivíduos. Como tal é possível afirmar que caso a lagoa tivesse sido aberta no final de janeiro, durante o pico de migração, teria ocorrido a fuga de pelo menos 27 % dos reprodutores. Adicionalmente, o conjunto de indivíduos marcados neste momento de marcação (B) estabelece um termo de comparação entre a fuga em condições de livre circulação e a fuga durante um período em que há os impactos referidos no parágrafo anterior (momento A). O número de indivíduos marcados no momento B, e que escapou, é muito superior ao momento A. Desta diferença proporcional se conclui que a pesca é claramente o fator antropogénico que tem mais impacto na quantidade de reprodutores que escapam da Lagoa de Santo André. Considerando as taxas de fuga potenciais de cada momento, a diferença é ainda maior, oscilando entre 1,58 % (momento A) e 81,81 % (momento B).

Do conjunto de indivíduos marcados no momento B, dois indivíduos não migraram. Esta taxa de 18%, à semelhança dos resultados obtidos por outros autores (Aarestrup *et al.*, 2008) pode representar uma taxa de regressão, uma vez que a maioria dos outros indivíduos migrou. Provavelmente uma parte da população é menos sensível aos estímulos ambientais, ou encontra-se em menor condição física como referido por Lopes, (2013) que, num estudo realizado na mesma lagoa, concluiu que a condição das enguias prateadas ia diminuindo com o tempo. Por estarem fechadas, e como foi identificado na AR, as enguias prateadas efetuam movimentos circulares, gastando a energia armazenada, que era destinada à migração oceânica até ao Mar dos Sargãos. Neste caso, os indivíduos que procuram uma saída da lagoa desde janeiro já manifestam um défice de condição em fevereiro (Lopes, 2013). Assim, a perda de condição dos dois indivíduos que não migraram poderá ter resultado do gasto energético adicional dentro da lagoa, que por sua vez pode ter conduzido à regressão das prateadas para enguias amarelas, inviabilizando a migração reprodutora desse ano., tal como referido por diversos autores (Feunteun, 2000; Durif *et al.* 2005; Aarestrup *et al.*, 2008). Posto isto, é provável que todos os anos uma proporção de indivíduos falhe a janela temporal da migração (Feunteun *et al.*, 2000; Aarestrup *et al.*, 2008), voltando a aumentar as reservas de energia durante a primavera e o verão, quando a temperatura da água é superior e a produtividade aumenta.

A rede de monitorização instalada na zona costeira adjacente permitiria detetar os indivíduos que saíam da lagoa, esclarecendo todas as dúvidas sobre o desaparecimento de indivíduos. A recuperação parcial do conjunto de recetores acústicos colocado na zona costeira adjacente foi a principal limitação do trabalho, dado que é possível que outros indivíduos tenham saído da LSA numa rota que passasse pelos recetores não recuperados subestimando a taxa de fuga. Todavia, apesar de inúmeros esforços de busca do local não foi possível recuperar a totalidade dos recetores, que provavelmente foram arrastados pelas ganchorras que operavam no local. Alternativamente considerou-se a taxa de fuga potencial, que

representa o cenário de maior fuga de prateadas possível. Este foi interpretado como sendo o somatório dos indivíduos que, com as devidas ressalvas, escaparam da lagoa. Do conjunto de indivíduos marcados durante o momento A, considerou-se 1 indivíduo, e do conjunto de indivíduos do momento B, foram considerados 9 indivíduos. Assim, para o total de 74 indivíduos marcados, a taxa de fuga global foi 13,51 %. A comparação dos resultados agora obtidos sobre o *timing* da migração e da taxa de fuga pode ser feita com os resultados obtidos para a bacia hidrográfica do rio Mondego, onde já foi feito um estudo semelhante sobre a fuga da enguia-europeia (Monteiro, 2015). A comparação revela que a taxa de fuga observada durante o momento B, em que a Lagoa de Santo André está aberta, foi semelhante à obtida para o rio Mondego, (tendo-se registado menos 3 %), e que em ambos os sistemas, o pico da atividade migratória ocorre em janeiro.

A confiança relativamente às taxas de fuga calculadas e à sua interpretação é elevada porque todos os indivíduos que foram considerados migradores, foram detetados pela última vez durante o período da noite e de baixa-mar durante o período de livre circulação entre a lagoa e o mar e porque foram detetados pela última vez na zona da Aberta (LSA-1), à exceção de dois indivíduos. Como parte importante deste trabalho, os resultados da aferição da eficiência de deteção da rede de monitorização permitem aumentar a confiança das inferências feitas nesta análise, relativamente à ausência de indivíduos na área monitorizada (Udyawer *et al.*, 2013). O *tracking* manual após a livre circulação entre a lagoa e o mar cobriu quase na totalidade a área molhada e só foram detetados 4 indivíduos, 1 deles no mesmo local, provavelmente morto. Os 4 indivíduos detetados no *tracking* já haviam sido detetados previamente pela rede fixa de monitorização e foram detetados no *tracking* a montante, após a abertura da lagoa ao mar. Esta informação não acrescentou nenhuma alteração ao cálculo das taxas de fuga.

Neste trabalho, a área de pesca e a área monitorizada sobrepõem-se completamente, correspondendo também à área que as enguias prateadas têm de atravessar para chegar ao oceano. Ainda que a taxa de mortalidade da pesca seja elevada, existe provavelmente uma heterogeneidade de comportamentos individuais que tornam alguns indivíduos mais vulneráveis à recaptura, tendo um deles sido recapturado 9 vezes em 38 dias. A amostra de indivíduos utilizada foi representativa do comportamento da população na Lagoa de Santo André porque marcou-se um número significativo de indivíduos ao longo do período de estudo, e porque reúne um número semelhante de machos e fêmeas, ainda que a proporção de sexos da população seja muito favorável aos machos (Lopes, 2013). Todos os indivíduos de todas as sessões de marcação foram detetados na rede fixa de monitorização acústica. Do total dos indivíduos da amostra, 20,27 % dos indivíduos considerados (i.e., não recapturado) para o cálculo da taxa de fuga foram detetados pelo menos uma vez desde a abertura da lagoa ao mar até ao final de junho. Assim, e à semelhança de Aarestrup *et al.*, (2008; 2010), que consideram que a não deteção reflete a mortalidade por pesca, é provável que na Lagoa de Santo André esta tenha atingido 79,72 %. Face ao número excecional de recapturas de alguns indivíduos, fica também verificada a mobilidade dos indivíduos em todo o corpo lagunar na lagoa, através da colaboração com pescadores com nassas em locais a montante, corroborando a identificação de movimentos para montante feita no *tracking* manual. Nas rotinas de processamento preliminar dos dados para analisar a distribuição espacial dos indivíduos foi tida em conta a informação de monitorização dos desembarques, contudo, o comportamento observado foi indubitavelmente afetado pela presença de nassas na área de estudo.

As enguias prateadas exibem um padrão de comportamento bentónico e os resultados demonstram que a atividade dos indivíduos aumentou durante o período da noite, em fase de lua nova ou quarto minguante, à semelhança do verificado por Lowe, (1952). Como se trata de uma lagoa pouco profunda, as características físico-químicas da massa de água são facilmente afetadas por algumas variáveis ambientais. Todavia, após um período alargado de tempo, particularmente sem novos estímulos à migração, (e.g. aumento da salinidade), os indivíduos podem regredir para enguias amarelas. É de ressaltar que a abertura da lagoa ao mar decorreu durante a Lua Nova e provocou a alteração das características físico-químicas da água devido ao efeito das marés, com aumento de caudal, subida da

temperatura e da salinidade (dados sonda multiparamétrica). Perante este conjunto de parâmetros ambientais que despoleta a atividade migratória, seria de esperar que a maioria das enguias prateadas migrassem em direção ao mar (Feunteun *et al.*, 2000; Monteiro *et al.*, 2015). Após as enguias prateadas atingirem o meio marinho movimentam-se para sudoeste. O período máximo de tempo que decorreu entre a última deteção dentro da Lagoa de Santo André e a última deteção no oceano foi de 75 minutos, indicando que estes indivíduos efetuaram a passagem pela junto à costa rapidamente.

5. Considerações Finais

O objetivo subjacente à realização do presente trabalho foi conhecer a dinâmica da migração reprodutora das enguias prateadas na Lagoa de Santo André, uma vez que esta lagoa costeira se encontra fechada ao mar durante a época de migração. Pretendia-se, com o cumprimento deste objetivo, contribuir para a definição de medidas que pudessem aumentar a fuga de reprodutores deste sistema costeiro, em consonância com os objetivos do Plano de Gestão de Enguia Português. Neste, foi contemplada como medida para aumentar a fuga de reprodutores, a criação de uma época de defeso para a enguia prateada, que foi estabelecida entre outubro e dezembro para todos os sistemas aquáticos.

Atendendo a que a abertura artificial da LSA ocorre geralmente em março, após o período habitual de migração da enguia-europeia pretendia-se saber se as enguias prateadas saíam da lagoa, enquanto ela se encontra fechada e/ou apenas depois da sua abertura e conhecer o seu comportamento face à presença da barreira criada pelo cordão dunar.

A análise do comportamento dos indivíduos marcados desde dezembro até à data de abertura da lagoa só foi possível devido aos avanços modernos no campo da telemetria acústica. A metodologia utilizada para aferir a eficiência da rede de telemetria instalada, poderá ser adotada para outros locais onde não existam condições ambientais ideais para a deteção dos animais, como lagoas costeiras ou estuários. A aplicação de técnicas de análise do campo da ecologia espacial, nomeadamente a análise KDE, a Análise de Redes e os modelos estatísticos permitiram aferir respetivamente as áreas mais utilizadas, os movimentos predominantes e a influência de variáveis abióticas na atividade migratória das enguias prateadas, aumentando o conhecimento sobre a ecologia da espécie.

O delineamento experimental utilizado no presente estudo, que incluiu a instalação de um conjunto de recetores dentro da lagoa e outro conjunto, no mar, permitiu conhecer o comportamento migratório da espécie no interior de uma lagoa que se encontra fechada durante a época de migração reprodutora e ainda, medir a taxa de fuga, *i.e.*, a percentagem de enguias prateadas que efetivamente sai da lagoa em direção ao local de reprodução. Além disso foi possível quantificar e caracterizar o sucesso da migração tardia de enguias prateadas, aprofundando o conhecimento sobre os impactos da gestão hidráulica e da pesca profissional direcionada à enguia, durante a época de migração (janeiro e fevereiro).

As enguias prateadas realizam migração reprodutora em meados de março, quando se procede à abertura da lagoa o que indica que mantêm o comportamento migratório e reagem a estímulos para sair para o mar. Do conjunto de indivíduos marcados após o período de pesca observou-se a fuga de 27 %, através do conjunto de recetores colocados na zona costeira adjacente. No entanto, e atendendo a que a rede de monitorização acústica no interior da lagoa, apenas detetou a presença de 18,18 % das enguias marcadas, admite-se que a fuga potencial terá sido de 81,81 %.

Após pratearem, e em condições ambientais favoráveis, nomeadamente no período da noite, com lua nova ou quarto minguante, com aumento de salinidade (galgamentos), com ventos de Oeste e de Sul, e com o aumento da precipitação, as enguias são impelidas pelo estímulo da migração na direção da zona da aberta. O pico de concentração de enguias prateadas junto à aberta ocorre em janeiro e durante este período os indivíduos manifestam grande diversidade de movimentos e nadam pelo canal principal da lagoa, nadam para montante, e nadam em círculos em torno das ilhas. Todos estes movimentos das enguias prateadas resultam do seu aprisionamento, caso contrário, rapidamente saíam da lagoa. Enquanto estiveram aprisionadas no interior da lagoa, ficou evidente enorme vulnerabilidade à captura.

A pesca da enguia prateada é proibida tendo sido criada uma época de defeso, entre outubro e dezembro, no cumprimento das medidas previstas no PGE português. Esta medida poderá ter o efeito desejado, *i.e.*, reduzir a mortalidade por pesca, nos cursos de água em que existe uma ligação ao mar. Embora as enguias prateadas na LSA manifestem comportamento migratório a partir de dezembro e o possam estender pelo menos até meados de março, o facto de se manterem num sistema fechado, após a época de defeso, torna-as vulneráveis à pesca. Como tal, será vantajoso proceder o mais rapidamente possível à alteração do período de defeso na LSA, movendo-o para o período de migração agora verificado, com o intuito de aumentar a fuga de reprodutores. Caso não seja possível alterar o período de defeso, e carecendo de outras medidas efetivas, a colocação de uma passagem para as enguias prateadas, poderá ser uma forma de assegurar a pesca nos atuais moldes de gestão e garantir o sucesso reprodutivo das enguias da LSA.

No PGE português considerou-se todo o território nacional, à exceção do rio Minho, como uma “bacia hidrográfica” (unidade de gestão). Esta opção foi tomada devido à falta de informação sobre a população de enguia em cada uma das bacias hidrográficas. Mesmo com as limitações encontradas durante este estudo, os resultados obtidos são uma mais-valia e um importante contributo para a conservação da enguia-europeia, atualmente classificada como criticamente em perigo e, acima de tudo, para a implementação do PGE português, já que fornecem informação única extremamente importante para futuras medidas de gestão.

6. Bibliografia

- Aalto E., Capoccioni F., Mas F. T., Schiavina M., Leone C., DeLeo G. e Ciccotti E. (2016). Quantifying 60 years of declining European eel (*Anguilla anguilla* L., 1758) fishery yields in Mediterranean coastal lagoons. *ICES Journal of Marine Science* **73**, 101-110.
- Aarestrup K., Thorstad E. B., Koed A., Jepsen N., Svendsen J. C., Pedersen M. I., Skov C. e Økland F. (2008). Survival and behaviour of European silver eel in late freshwater and early marine phase during spring migration. *Fisheries Management and Ecology* **15**, 435-440.
- Aarestrup K., Thorstad E. B., Koed A., Svendsen J. C., Jepsen N., Pedersen M. I. e Økland F. (2010). Survival and progression rates of large European silver eel *Anguilla anguilla* in late freshwater and early marine phases. *Aquatic Biology* **9**, 263-270.
- Abecasis D. e Erzini K. (2008). Site fidelity and movements of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) in a coastal lagoon (Ria Formosa, Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **79**, 758-763.
- Acou A., Gabriel G., Laffaille P. e Feunteun E. (2009) Differential production and condition indices of premigrant eels in two small Atlantic coastal catchments of France in Casselman, J. e Cairns, D., (eds) Eels at the edge, Symposium 58. Bethesda, MD: *American Fisheries Society Symposium* **58**, 157-174.
- Acou A., Lefebvre F., Contournet P., Poizat G., Panfili J. e Crivelli A. J. (2003). Silvering of female eels (*Anguilla anguilla*) in two sub-populations of the Rhône delta. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture* **368**, 55-68.
- Als T. D., Hansen M. M., Maes G. E., Castonguay M., Riemann L., Aarestrup K., *et al.* (2011). All roads lead to home: Panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology* **20**, 1333-1346.
- Amilhat E., Farrugio H., Lecomte-Finiger R., Simon G. e Sasal P. (2009). Silver eel population size and escapement in a Mediterranean lagoon: Bages–Sigean, France. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* **05**, 390-391.
- Aoyama J. (2009). Life history and evolution of migration in catadromous eels (genus *Anguilla*). *Aqua-BioScience Monographs* **2**, 1-42.
- Aoyama J., Wouthuyzen S., Miller M. J., Inagaki T. e Tsukamoto K. (2003). Short-distance spawning migration of tropical freshwater eels. *Biology Bulletin* **204**, 104-108.
- Behrmann-Godel J. e Eckmann R. (2003). A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* **12**, 196-202.
- Belpaire C., Geeraerts C., Evans D., Ciccotti E. e Poole R (2011). The European eel quality database: towards a pan-European monitoring of eel quality. *Environment Monitorization Assessment* **183**, 273-284.
- Beyer H. L. (2015). Geospatial Modelling Environment. <http://www.spataleecology.com/gme>.
- Beullens K., Eding, E. H., Gilson, P., Ollevier F., Komen J. e Richter C. J. J. (1997). Gonadal differentiation, intersexuality and sex ratios of European eel (*Anguilla anguilla* L.) maintained in captivity. *Aquaculture* **153**, 135-150.

- Borgatti S. P., Everett M. G. e Freeman L. C. (2002). Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis. MA: Analytic Technologies, Harvard.
- Bultel E., Lasne E., Acou A., Guillaudeau J., Bertier C. e Feunteun E. (2014). Migration behaviour of silver eels (*Anguilla anguilla*) in a large estuary of Western Europe inferred from acoustic telemetry. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **137**, 23-31.
- Burgerhout E., Brittiijn S. A., Tudorache C., de Wijze D. L., Dirks R. P. e van den Thillart G. E. E. J. M. (2013). Male European eels are highly efficient long distance swimmers: Effects of endurance swimming on maturation. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* **166**, 522-527.
- Cabral M. J. (coord.), Almeida J., Almeida P.R., Dellinger T., Ferrando de Almeida N., Oliveira M.E., Palmeirim J. M., Queiroz A.I., Rogado L., & Santos-Reis M. (eds.) (2005). Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa.
- Cancela da Fonseca L. M. Q. (1989). Estudo da influência da “abertura ao mar” sobre um sistema lagunar costeiro: a Lagoa de Santo André. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Chadwick S., Knights B., Thorley J. L. e Bark A. (2007). A long-term study of population characteristics and downstream migrations of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) and the effects of a migration barrier in the Girnock Burn, north-east Scotland. *Journal of Fish Biology* **70**, 1535-1553.
- Chainho P., Félix P. M., Correia M. J., Costa J. L., Chaves M. L., Stigter T., Hughman R., Salvador N., Costa L., Domingos I., Lopes V., Castro J., Cruz T., Costa A., Monteiro J. P., Chambel A., Nunes L., Silva A. C. F., Pinto J. R., Vidal A. M., Pinheiro I., Costa M. J., Cabral H. N., Ribeiro L. T. e Cancela da Fonseca L. (2014). Projecto GROUNDSCENE: biodiversidade de lagoas costeiras e respectivas bacias hidrográficas como ecossistemas dependentes de águas subterrâneas *in* Formação e ocupação de litorais nas margens do Atlântico - Brasil / Portugal, Chapter: XI, Publisher: FAPERJ - Corbã Editora e Artes Gráficas Lda, Editors: Silvia Dias Pereira, Joana Gaspar Freitas, Sérgio Bergamaschi, Maria Antonieta C. Rodrigues, pp.187-213. ISBN 978-85-98460-20-8.
- Charrier F., Mazel V., Caraguel J. M., Abdallah Y., Le Gurun L. L., Legault A., e Laffaille P. (2012). Escapement of silver-phase European eels, *Anguilla anguilla*, determined from fishing activities in a Mediterranean lagoon (Or, France). *ICES Journal of Marine Science* **69**, 30-33.
- Costa J. L., Domingos I., Assis C. A., Almeida P. R., Moreira F., Feunteun E., *et al.* (2008). Comparative ecology of the European eel, *Anguilla anguilla* (L., 1758), in a large Iberian river. *Environmental Biology of Fishes* **81**, 421-434.
- Cruces A. (2001). Estudo micro e meso-escala temporal dos sistemas lagunares do SW alentejano (Portugal) – lagoas de Melides e Santo André. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Daverat F., Limburg K. E., Thibault I., Shiao J. C., Dodson J. J., Caron F. O., Tzeng W. N., Lizuka Y. e Wickström H. (2006). Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species, *Anguilla anguilla*, *A. japonica* and *A. rostrata*. *Marine Ecology Progress Series* **208**, 231-241.
- Decreto Regulamentar n.º 10/2000, de 22 de agosto - Cria a Reserva Natural das Lagoas de Santo André e Sancha.

- Decreto Regulamentar n.º 4/2004, de 29 de março - Altera o Decreto Regulamentar n.º 10/2000, de 22 de agosto – Reserva Natural das Lagoas de Santo André e Sancha.
- Dekker W. (2003). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology* **10**, 365-376.
- Dekker W. (2016). Management of the eel is sleeping through our hands! Distribute control and orchestrate national protection. *ICES Journal of Marine Sciences* **73**, 2442-2452.
- De Leo G.A. e Gatto M. (1995). A size and age- structured model of the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**, 1351-1367.
- Domingos I. (2003). A enguia-europeia, *anguilla anguilla* (L., 1758), na bacia hidrográfica do rio Mondego. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Domingos I., Costa J. L. e Costa M. J. (2006). Factors determining length distribution and abundance of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the River Mondego (Portugal). *Freshwater Biology* **51**, 2265-2281.
- Durif C., Dufour S. e Elie P. (2005). The silvering process of *Anguilla anguilla*: A new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology* **66**, 1025-1043.
- Elliott M. e Dewailly F. (1995). The structure and components of European estuarine fish assemblages. *The Netherlands Journal of Aquatic Ecology* **29**, 397-417
- Feunteun E., Acou A., Laffaille P. e Legault A. (2000). European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **57**, 1627-1635.
- Freeman L.C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry* **40**, 35-41.
- Freitas M. C., Andrade C. e Cruces A. (1999). Lagoa de Santo André – Dinâmica do sistema lagunar actual. Comportamento da barra, dinâmica hidrológica e sedimentar da laguna. Evolução Holocénica do sistema lagunar. Livro guia da visita de estudo ao litoral entre S. André e V. Nova de Mil Fontes do Seminário “A zona costeira do Alentejo”, *EUROCOAST*, 7 p.
- Freitas M. C. P., Andrade C. F. e Cruces A. G. (2002). Estudo Integrado do Sistema Lagunar de Santo André - Monte Velho. *Coleção Estudos sobre Alentejo*, n.º **1**. DRAOT Alentejo.
- Gómez D., Figueira J.R. e Eusébio A. (2013). Modeling centrality measures in social network analysis using bi-criteria network flow optimization problems. *European Journal of Operational Research* **226**, 354-365.
- Gordo L.S. e Cabral H.N. (2001). The fish assemblage structure of a hydrologically altered coastal lagoon: the Óbidos lagoon (Portugal). *Hydrobiologia* **459**, 125-133.
- Hengl T. (2009). *A Practical guide to Geostatistical Mapping*. University of Amsterdam. ISBN: 978-90-9024981-0.
- Hengl T., Rossiter D. G. e Stein A. (2004). Soil sampling strategies for spatial prediction by correlation with auxiliary maps. *Australian Journal of Soil Research* **41**, 1403-1422.
- Heupel M. R., Semmens J. M. e Hobday A. J. (2006). Automated acoustic tracking of aquatic animals: scales, design and deployment of listening station arrays. *Marine and Freshwater Research* **57**, 1-13.

- Huveneers C., Simpfendorfer C. A., Kim S., Semmens J. M., Hobday A. J. e Pederson H. (2016). The influence of environmental parameters on the performance and detection range of acoustic receivers. *Methods in Ecology and Evolution* **7**, 825-835.
- Hussey N. E., Kessel S. T., Aarestrup K., Cooke S.J., Cowley P. D., Fisk A.T., *et al.* (2015). Aquatic animal telemetry: a panoramic window into the underwaterworld. *Science* **348**, 1255642.
- ICES (1999). Report of the ICES Advisory Committee on Fisheries Management in *ICES Cooperative Research Report. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea* **236**, 393-405.
- ICES (2015) WGEEL. Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL) in *Stock Annex for the European Eel*.
- ICES (2016) ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort Northeast Atlantic. European eel (*Anguilla anguilla*) throughout its natural range in ICES 2016. Report of the Working Group on Eels (WGEEL), 15–22 September 2016, Cordoba, Spain. ICES CM 2016/ACOM:19 107 pp.
- Jacoby D. M. P., Brooks E. J., Croft D. P. e Sims D. W. (2012). Developing a deeper understanding of animal movements and spatial dynamics through novel application of network analyses. *Methods in Ecology and Evolution* **3**, 574-583.
- Jacoby D. M. P., Papastamatiou Yannis P., Feeman R. (2016). Inferring animal social networks and leadership: applications for passive monitoring arrays. *Journal of the Royal Society Interface* **13**, 124
- Jepsen N., Schreck C., Clement S. e Thorstad E. (2004). A brief discussion of the 2% tag/body mass rule of thumb. Pages 255-259 in M. T. Lembo and G. Marmullaed, editors. *Aquatic telemetry: advances and applications*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Jacoby D. M. P., Papastamatiou Yannis P., Feeman R. (2016). Inferring animal social networks and leadership: applications for passive monitoring arrays. *Journal of the Royal Society Interface* **13**.
- Kessel S., Cooke S., Heupel M., Hussey N., Simpfendorfer C., Vagle S. e Fisk A. (2014). A review of detection range testing in aquatic passive acoustic telemetry studies. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **24**, 199-218.
- Kie J. G., Matthiopoulos J., Fieberg J., Powell R. A., Cagnacci F., Mitchell M. S., Gaillard J.-M., e Moorcroft P. R. (2010). The home-range concept: are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London – B. Biological Sciences* **365**, 2221-2231.
- Kirk R. S. (2003). The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. *Fisheries Management* **10**, 385-394.
- Krige D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society* **52**, 119-139.
- Kuwahara A., Niimi A. e Itagaki H. (1974). Studies of a nematode parasitic in the air bladder of the eel. I. Description of *Anguillicola crassa* n. sp. (Philometridea, Anguillicolidae). *Japanese Journal of Parasitology* **23**, 275-279.
- Lefebvre F. e Crivelli A. J. (2012). Salinity effects on anguillicolosis in Atlantic eels: a natural tool for disease control. *Marine Ecology Progress Series* **471**, 193-202.

- Lopes V. C. P. (2013). A enguia na Lagoa de Santo André - Contributo para a gestão da sua pesca. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lowe R. H. (1952). The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*Anguilla anguilla* L.). *Journal of Animal Ecology* **21**, 275-309.
- Maljkovic A. e Cote I. M. (2011). Effects of tourism-related provisioning on the trophic signatures and movement patterns of an apex predator, the Caribbean reef shark. *Biol Conserv* **144**, 859-865.
- Makagon M. M., McCowana B. e Mencha J.A. (2013). How can social network analysis contribute to social behavior research in applied ethology? *Applied Animal Behaviour Science* **138**, 1-16.
- Mariano A.C., Álvares M.T. e Pimenta M.T. (2004). Monitorização batimétrica de lagoas costeiras – Albufeira de Santo André. INAG/DSRH. Lisboa.
- Marohn L., Jakob E. e Hanel R. (2013). Implications of facultative catadromy in *Anguilla anguilla*. Does individual migratory behaviour influence eel spawner quality? *Journal of Sea Research* **77**, 100-106.
- Matheron G. (1969). Le krigeage universel. Vol. 1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau.
- Mccarthy T. K., Nowak D., Grennan J., Bateman A., Conneely B. e Macnamara R. (2013). Spawner escapement of European eel (*Anguilla anguilla*) from the River Erne, Ireland. *Ecology of Freshwater Fish* **23**, 21-32.
- McCleave J. D. (1998). Do Leptocephali of the European Eel Swim to Reach Continental Waters? Status of the Question. *Journal of The Marine Biological Association of the UK* **78**, 285-306.
- McCleave J. D., Kleckner R. C. e Castonguay M. (1987). Reproductive sympatry of American and European eels and implications for migration and taxonomy. *American Fisheries Society Symposium* **1**, 286-297.
- McCullagh P. e J. A. Nelder (1989). Generalized Linear Models, 2nd edn. Chapman and Hall, New York.
- Medwin H. e Clay C. S. (1997). Fundamentals of acoustical oceanography. Elsevier Science, Amsterdam. ISBN: 978-0124875708.
- Melnychuk M. C. (2012). Detection Efficiency in Telemetry Studies: Definitions and Evaluation Methods. *Telemetry techniques: A user guide for fisheries research* (eds N.S. Adams, J.W. Beeman e J.H.Eiler), pp. 339–357. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Miller M. J., Bonhommeau S., Munk P., Castonguay M., Hanel e. & McCleave J.D. (2015). A century of research on the larval distributions of the Atlantic eels: A re-examination of the data. *Biological Reviews* **90**, 1035-1064.
- Monteiro R. (2015). A enguia-europeia no Rio Mondego : estrutura populacional, taxa de prateação e fuga de reprodutores. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Munk P., Hansen M. M., Maes G. E., Nielsen T. G., Castonguay M., Riemann L., et al. (2010). Oceanic fronts in the Sargasso Sea control the early life and drift of Atlantic eels. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* **277**, 3593-3599.
- Neto A. F., J. L. Costa, M. J. Costa e I. Domingos. (2010) Epidemiology and pathology of

- Anguillicoloides crassus* in the European eel, *Anguilla anguilla*, from the Tagus estuary (Portugal). *Diseases of Aquatic Organisms* **88**, 225-233.
- Observatório Astronómico de Lisboa (2016). Nascimento e Ocaso do Sol (PORTO). Disponível através de pedido por e-mail.
- O'Toole A. C., Danylchuk A. J., Goldberg T. L., Susky C. D., Philipp D. P., Brooks E. e Cooke S.J. (2011). Spatial ecology and residency patterns of adult great barracuda (*Sphyrna barracuda*) in coastal waters of The Bahamas. *Marine Biology* **158**, 2227-2237.
- Palstra A., van Ginneken V. e van den Thillart G. (2008). Cost of transport and optimal swimming speed in farmed and wild European silver eels (*Anguilla anguilla*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* **151**, 37-44.
- Pankhurst N. (1982). Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology* **21**, 127-140.
- Payne N. L., B. M. Gillanders, D. M. Webber e J. M. Semmens. (2010). Interpreting diel activity patterns from acoustic telemetry: the need for controls. *Marine Ecology Progress Series* **419**, 295-301.
- Pedersen M. I., Jepsen N., Aarestrup K., Koed A., Pedersen S. e Økland F. (2012). Loss of European silver eel passing a hydropower station. *Journal of Applied Ichthyology* **28**, 189-193.
- Pérez-Ruzafa A., Marcos C. e Pérez-Ruzafa I. M. (2011a). Mediterranean coastal lagoons in an ecosystem and aquatic resource management context. *Physics and Chemistry of the Earth* **36**, 160-166.
- Pérez-Ruzafa A., Marcos C. e Pérez-Ruzafa I.M. (2011b). Recent advances in coastal lagoons ecology: evolving old ideas and assumptions. *Transitional Waters Bulletin* **5**, 50-74.
- Pires A. R. (2011). Morfodinâmica da barra de maré efémera da Lagoa de Santo André. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Plano de Gestão da Enguia. Resposta do Estado Português ao Regulamento (CE) nº1100/2007, de 18 de Setembro. Dezembro de 2008.
- Portaria n.º 86/2004, de 8 de janeiro - Cria uma zona de pesca profissional na lagoa de Santo André.
- Portaria n.º 1046/2008, de 16 de setembro - Altera a Portaria n.º 86/2004(2ªSérie), de 8 de janeiro, que cria uma zona de pesca profissional na lagoa de Santo André.
- Powell R. A. (2000). Animal Home Ranges and Territories and Home Range Estimators in Boitani L. e Fuller T. K., (eds) *Research Techniques in Animal Ecology - Controversies and Consequences*. New York: Columbia University Press, 65-110.
- Resolução do Conselho de Ministros nº 142/97, de 28 de agosto - Aprova a lista nacional de sítios (1.ª fase) prevista no artigo 3.º do Decreto-Lei nº 226/97, de 27 de agosto (transpõe para o direito interno a Diretiva nº 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de maio, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens).
- Resolução do Conselho de Ministros nº 90/2002, de 23 de abril - Elabora o Plano de Ordenamento da Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha.
- Resolução do Conselho de Ministros nº 117/2007, de 23 de agosto - Aprova o PORNLSAS - Planeamento e Ordenamento do Território, Planeamento e Gestão Ambiental, Ordenamento das bacias hidrográficas, Ordenamento da paisagem.

- Sakabe R. e Lyle J. M. (2010). The influence of tidal cycles and freshwater inflow on the distribution and movement of an estuarine resident fish *Acanthopagrus butcheri*. *Journal of Fish Biology* **77**, 643-660.
- Santinhos A. J. (2013). Perceção das populações locais face à sustentabilidade dos serviços das zonas costeiras: o caso da Lagoa de Santo André. Dissertação de Mestrado, Universidade Aberta, Lisboa.
- Schimdt J. (1922). The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society* **211**, 179-208.
- Silverman B.W. (1986). Density estimation for statistics and data analysis. *Monographs on Statistics and Applied Probability*, Chapman & Hall, London.
- Stein F., Fladung E., Brämick U., Bendall B. e Schröder B. (2015). Downstream Migration of the European eel (*Anguilla anguilla*) in the Elbe river, Germany: movement patterns and the potential impact of environmental factors. *River Research and Applications* **7**, 189.
- Tesch F.W. e Wegner G. (1990). The distribution of small larvae of *Anguilla* sp. related to hydrographic conditions 1981 between Bermuda and Puerto Rico. *Int Revue Gesamten Hydrobiol* **75**, 845-858.
- Tesch F. W. (2003). The Eel. Blackwell Publishing, Oxford.
- Tett P., Gilpin L., Svendsen H., Erlandsson P., Larsson U., Kratzer S., Fouilland E., Janzen C., Lee J.Y., Grenz C., Newton A., Ferreira J.G., Fernandes T. e Scory, S. (2003). Eutrophication and some European waters of restricted exchange. *Continental Shelf Research* **23**, 1635-1671.
- Udyawer V., Chin A., Knip D. M., Simpfendorfer C. A. e Heupel M. R. (2013). Variable response of coastal sharks to severe tropical storms: environmental cues and changes in space use. *Marine Ecology Progress Series* **480**, 171-183.
- Urban D. e Keitt T. (2001). Landscape Connectivity : A Graph-Theoretic Perspective. *Ecology* **82**, 1205-1218.
- Van Ginneken V. J. T. e van den Thillart, G. E. E. J. M. (2000) Eel fat stores are enough to reach the Sargasso. *Nature* **403**, 156-157.
- Venables W. N. e Ripley B. D. (2002). Modern applied statistics with S, 4th Edition. *Springer-Verlag, New York*.
- Worton B.J. (1989). Kernel Methods for Estimating the Utilization Distribution in Home-Range Studies. *Ecology* **70**, 164-168.